



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VLIV VĚTRU NA PROVOZ LETIŠŤ V ČR

WIND INFLUENCE ON THE TRAFFIC AIRPORTS IN THE CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL ŠVEC

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

RNDr. KAREL KRŠKA, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Švec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Profesionální pilot (3708R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv větru na provoz letišť v ČR

v anglickém jazyce:

Wind Influence on the Traffic Airports in the Czech Republic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Způsoby měření větru na letištích v ČR. Systém AWOS. Střih větru. Kódování větru, vítr v meteorologických zprávách a výstrahách. Boční vítr jako limitující faktor letového provozu.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor větru na některém z regionálních letišť ČR na základě pětiletého pozorování. Vyhodnocení bočního větru ve vztahu ke kategoriím a typům letadel.

Seznam odborné literatury:

Meteorologie. Učební texty (ed.L.Kulčák). Brno 2006.

Dvořák, P.: Letecká meteorologie. Cheb 2010.

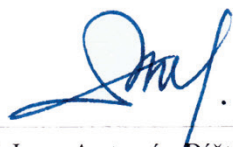
Zverev, A. S.: Synoptická meteorológia. Bratislava 1986.

Letecké předpisy.

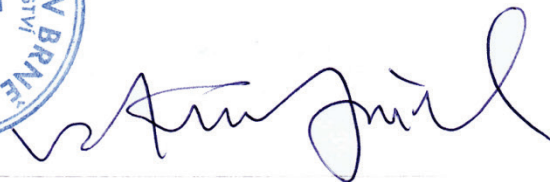
Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Karel Krška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011



prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přízemním větrem, tedy větrem, který ovlivňuje, případně i omezuje vzlety a odlety letadel. Nejprve se zmiňuje o meteorologických příčinách větru, jeho charakteristikách v atmosféře, vlivem zemského povrchu na něj a dále pro letectví nebezpečnými meteorologickými jevy, které vítr způsobuje. V další části je pojednáno o měření větru na letištích z obecného a poté i praktického hlediska, které zahrnuje především dnes používané přístroje k jeho měření. Je popsána problematika složek větru a jejich vliv na vzlety a přistání letounů, větru v meteorologických zprávách a předpovědích a systému AWOS. Poté byl vyhodnocen vítr na letišti v Karlových Varech podle popsanych měřítek a postupů.

KLÍČOVÁ SLOVA

přízemní vítr, větrná směrůvka, anemometr, vliv větru, složka větru, boční vítr, awos, lkqv

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with surface wind, which is the wind that influences or limits take-offs and landings of aircrafts. It firstly mentions the meteorological causes of the wind, its characteristics in the atmosphere, effect of the ground relief to the wind and dangerous meteorological phenomena for aviation, which are caused by the wind. The next part is focused on the wind measurement from the general and practical point of view, which includes today's measuring instruments. It describes the issue of wind components and their effect on take-offs and landings of airplanes, wind in meteorological reports and forecasts and AWOS system. Afterwards the evaluation of surface wind at Karlovy Vary airport was made using the described scales and methods.

KEYWORDS

surface wind, wind vane, anemometer, wind impact, wind component, crosswind, awos, lkqv

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVEC, M. *Vliv větru na provoz letišť v ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Karel Krška, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího pana RNDr. Karla Kršky CSc. s využitím uvedené literatury.

V Brně 25. května 2012

.....

Michal Švec

PODĚKOVÁNÍ

Moc děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu RNDr. Karlu Krškovi, CSc., za vstřícné, věcné a trpělivé vedení, ochotu a veškerý čas, který mi laskavě věnoval. Dále děkuji vedoucím Odboru letecké meteorologie Českého hydrometeorologického ústavu panu RNDr. Bohumilu Techlovskému, za poskytnutá data a svolení je použít v této práci.

OBSAH

ÚVOD	11
1 VÍTR V ATMOSFÉŘE	13
1.1 SPODNÍ ČÁSTI TROPOSFÉRY A SÍLA TŘENÍ	14
1.2 DENNÍ CHOD VĚTRU	15
1.3 MÍSTNÍ VĚTRY	15
1.4 NEBEZPEČNÉ VĚTRNÉ JEVY	16
1.4.1 Náraz větru	16
1.4.2 Střih větru	16
1.4.3 Húlava	16
1.4.4 Propad studeného vzduchu (downburst)	17
1.4.5 Turbulence	17
2 MĚŘENÍ VĚTRU NA LETIŠTI	19
2.1 VIZUÁLNÍ PROSTŘEDKY	20
2.2 MISKOVÝ A LOPATKOVÝ ANEMOMETR A VĚTRNÁ SMĚROVKA	21
2.2.1 Princip	22
2.2.2 Použití	24
2.3 ULTRASONICKÝ ANEMOMETR	25
2.3.1 Princip	25
2.3.2 Použití	26
2.4 DALŠÍ PROSTŘEDKY MĚŘENÍ	27
3 VLIV VĚTRU NA LETOVÝ PROVOZ	29
3.1 SLOŽKY VĚTRU PŘI VZLETU A PŘISTÁNÍ A JEJICH VLIVY NA VÝKONNOST LETADEL	29
3.2 STŘIH VĚTRU	31
4 VÍTR A STŘIH VĚTRU V METEOROLOGICKÝCH ZPRÁVÁCH A PŘEDPOVĚDÍCH	33
4.1 LETECKÉ METEOROLOGICKÉ ZPRÁVY A PŘEDPOVĚDI	33
4.1.1 METAR	33
4.1.2 SPECI	33
4.1.3 TREND	34
4.1.4 TAF	34
4.2 MOŽNÉ HODNOTY PŘÍZEMNÍHO VĚTRU	34

4.3 KÓDOVÁNÍ VĚTRU A STŘIHU VĚTRU VE ZPRÁVÁCH A PŘEDPOVĚDÍCH ...	35
5 AWOS – AUTOMATIZOVANÝ LETIŠTNÍ POZOROVACÍ SYSTÉM	37
5.1 STRUKTURA	37
5.2 ÚČEL, VÝHODY A NEVÝHODY SYSTÉMU AWOS V LETECTVÍ	38
5.3 MĚŘENÍ VĚTRU A STŘIHU VĚTRU V SYSTÉMU AWOS	39
5.4 SYSTÉMY AWOS V ČR	40
6 VYHODNOCENÍ VĚTRU NA LETIŠTI KARLOVY VARY	41
6.1 CHARAKTERISTIKA LETIŠTĚ	41
6.2 SMĚR A RYCHLOST VĚTRU – STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ	42
6.3 KATEGORIE LETADEL VZHLEDEM K BOČNÍMU VĚTRU NA LKKV	48
ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	50
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
SEZNAM PŘÍLOH	54
OBSAH CD	54

ÚVOD

Vítr je jedním z limitujících faktorů v letectví, který působí a ovlivňuje celý letecký provoz. Ať už ve výškách nebo při zemi, kde přízemní vítr zásadně ovlivňuje výkonnost letadel při vzletech a přistáních. Jestliže přízemní vítr výrazně přesahuje průměrné hodnoty rychlosti, nebo se vyskytují výrazné krátkodobé fluktuace jeho rychlosti nebo směru, hovoříme o nárazech větru, které podstatným způsobem ztěžují pilotáž a zvyšují nároky na její přesnost a soustředění pilotů. Měření přízemního větru je proto důležité a umožňuje připravit se pilotům na adekvátní výkon při nejnáročnějších úsecích letu, tedy vzletu a přistání.

1 VÍTR V ATMOSFÉŘE

Větrem se zpravidla rozumí horizontální nebo převážně horizontální proudění vzduchu. Patří mezi základní meteorologické prvky. Podle [17] je to vektor popisující pohyb zvolené částice vzduchu v určitém místě atmosféry v daném časovém okamžiku. Obecně tedy lze uvažovat proudění vzduchu v jakémkoliv směru. Platí však, že horizontální proudění řádově převažuje nad vertikálním. Horizontální složka vzniká působením horizontálního tlakového gradientu, Coriolisovy síly, odstředivé síly a síly tření o zemský povrch. Protože se jedná o Coriolisovu sílu, která je vztažena k Zemi, nazývá se uchylující síla zemské rotace. Vertikální složka proudění je způsobena pohybem vzduchu například ve frontálních a cirkulačních systémech, konvekcích nebo z důvodu obtékání výškových překážek. Pro praktické i teoretické použití se rozlišují různé kategorie větru, například vítr přízemní a vítr výškový. Jako přízemní označujeme vítr, který je měřený v dohodnuté výšce nad zemským povrchem, standardně ve výšce 10 m, na vhodném prostranství. Tato práce se zabývá především větrem přízemním.

1.1 Příčiny větru

Hlavní příčinou proudění vzduchu (větru) je rozložení atmosférického tlaku, respektive tlakových útvarů v atmosféře. Tlak je vysoce proměnlivý a nepravidelně se měnící prvek. Příčiny změn tlaku spočívají v nerovnoměrném ohřívání zemského povrchu. I přesto lze pozorovat denní i roční periodická kolísání tlaku.

Tlak je v atmosféře také spojitým prvkem. Proto je možné vymezit v průřezu atmosférou plochy stejného tlaku vzduchu, které se nazývají izobarické plochy. Jejich průsečnice se zemským povrchem se nazývají izobary. Ve směru normály k izobarám lze tedy pozorovat změnu tlaku vzduchu. Jestliže vyjádříme záporně vzatý podíl změny tlaku vzduchu ke změně vzdálenosti na průmětu normály k izobare do horizontální roviny, lze získat sílu horizontálního tlakového gradientu (vzorec 1.1).

$$G = -\frac{\partial p}{\partial n} \quad [\text{Pa}] \quad (1.1)$$

kde: p - atmosférický tlak [Pa]
 n - délka normály k izobare v horizontální rovině [m]

Stejně jako na každé těleso pohybující se na Zemi, působí i na pohybující se vzduchovou částici Coriolisova síla neboli uchylující síla zemské rotace. Její velikost je závislá na zeměpisné šířce, kde hodnota její horizontální složky dosahuje maxima při 90°. Uchylující síla zemské rotace se vypočítá podle vzorce 1.2.

$$C = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot v \cdot \sin \varphi \quad [\text{N}] \quad (1.2)$$

kde: m - hmotnost vzduchové částice [kg]
 ω - úhlová rychlost zemské rotace ($7,29 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) [s^{-1}]
 v - rychlost vzduchové částice [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 φ - zeměpisná šířka [$^{\circ}$]

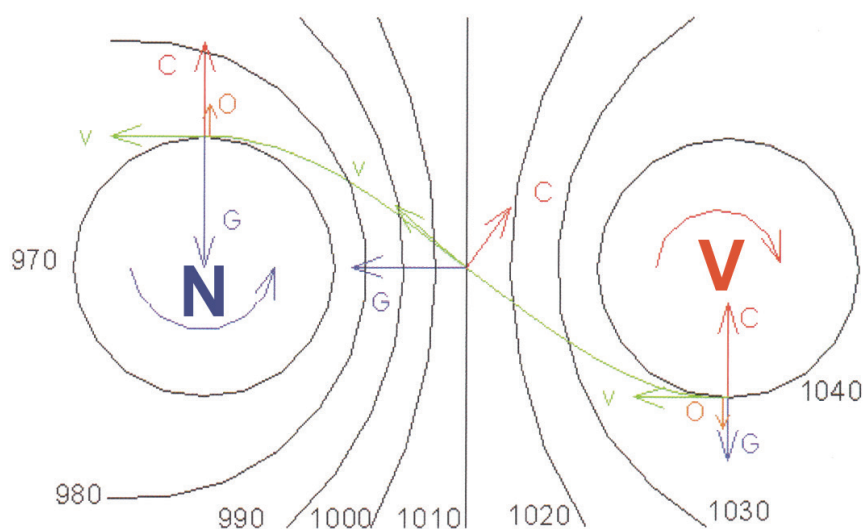
Při pohybu o určité rychlosti po křivočaré dráze působí na každé těleso (tedy i na vzduchovou částici) odstředivá síla spjatá s jeho setrvačností. Odstředivá síla se vypočítá podle vzorce 1.3.

$$O = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad [\text{N}] \quad (1.3)$$

kde: m - hmotnost vzduchové částice [kg]
 v - rychlost vzduchové částice [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 r - poloměr zakřivení dráhy [m]

Z důvodu existence horizontálního tlakového gradientu, tedy síly působící na vzduchovou částici v místě, kde tlakový gradient není nulový, se tato částice začne zprvu pohybovat ve směru tohoto gradientu ve snaze vyrovnat tlak tím, že se přemístí z místa vyššího tlaku vzduchu do místa o nižším tlaku vzduchu. Na pohybující se těleso však začne působit uchylující síla zemské rotace, která působí kolmo na vektor rychlosti (na severní polokouli vpravo od směru pohybu). Za určitý čas bude uchylující síla zemské rotace stejně velká jako síla horizontálního tlakového gradientu, avšak opačného směru. Dojde tedy k ustálenému proudění podél izobar. V případě přímkových izobar se tento vítr nazývá geostrofičtý.

Ve skutečnosti jsou však izobary téměř vždy zakřivené, a proto začne na pohybující se vzduchovou částici působit i síla odstředivá. Na obr. 1.1 je vidět průběh vzdušného proudění mezi tlakovou výší a tlakovou níží. Síla horizontálního tlakového gradientu je na obrázku označena písmenem G , Coriolisova síla písmenem C a odstředivá síla písmenem O . V případě rovnováhy těchto tří sil nazýváme vítr gradientový. Výsledný vektor pohybu vzduchové částice je označen písmenem V .



Obr. 1.1 Gradientový vítr v cykloně (N) a anticykloně (V) [10]

1.1 Spodní části troposféry a síla tření

Spodní část troposféry se dělí na dvě vrstvy, v nichž se v různé míře uplatňuje vliv zemského povrchu. Podle [10] se tyto vrstvy nazývají:

- Přízemní mezní vrstva
- Mezní vrstva (vrstva tření)

Přízemní mezní vrstva se rozkládá od zemského povrchu do výšky 60 až 100 m nad něj. Je charakterizována nejsilnějšími projevy vlivu zemského povrchu, zejména již zmíněnou silou tření, která je v této vrstvě největší. Přízemní vítr se měří v této vrstvě.

Mezní vrstva atmosféry se rozkládá zhruba od 100 m do výšky asi 1,5 km. I v této vrstvě je pozorován vliv zemského povrchu. Z hlediska proudění se i v ní projevuje síla tření, která je ovšem již menší a od výšek okolo 1 km téměř zanedbatelná.

Síla tření vzniká působením dvou různých vlivů. Prvním z nich je tření vnější, které vzniká přímým stykem nejspodnější vzduchové vrstvy s povrchem země [10]. Druhým je tření vnitřní, které se dále rozděluje na tření molekulární a tření virtuální. Molekulární tření je vyrovnávání rychlosti proudění ve dvou sousedních vrstvách vzduchu z důvodu pohybu molekul z jedné vrstvy do druhé. Tření virtuální je vertikální promíchávání větších množství vzduchu, pohybujících se různými rychlostmi, mezi vrstvami. Rozhodující pro směr a rychlost přízemního větru je však tření vnější, které je oproti vnitřnímu tření řádově vyšší. Výsledný vektor síly tření je odchýlen od opačného směru pohybu vzduchu o úhel 38° vlevo, proti směru hodinových ručiček. Nepůsobí tedy ve směru opačném od směru proudění [10].

1.2 Denní chod větru

V mezní vrstvě atmosféry je zřetelný denní chod větru. Ovšem ten je jiný při zemi a jiný v horní polovině této mezní vrstvy. Ráno a dopoledne dochází k zahřívání zemského povrchu, které způsobuje cirkulaci vzduchu. Částice vzduchu o menší rychlosti při zemi jsou vynášeny do horních částí mezní vrstvy, kde je rychlost proudění vyšší. Tento vzduch tedy brzdí proudy, které zde převládají. Opačný jev nastává u částic sestupujících do nižších částí mezní vrstvy. Ty si zachovávají vyšší rychlost z výšek, čímž dochází v dolních částech mezní vrstvy k urychlování proudění. Tento stav zůstává až do pozdních odpoledních hodin, kdy vítr v přízemní vrstvě utichá [6].

Denní chod může být do značené míry ovlivněn místními větry.

1.3 Místní větry

Mezi místní větry se řadí několik jevů, které jsou způsobovány vlastnostmi terénu a reliéfem krajiny. Směr proudění se zakřivuje podle tvaru překážek, např. podle horských nebo říčních údolí, vzduch je nucen překážky obtékat nebo přetékat, někde dochází ke zrychlování větru vlivem zúženého prostoru, např. v sedle mezi dvěma horami nebo v údolí mezi dvěma pohořími [6]. Jedná se především o horské (katabatické) a údolní (anabatické) větry, větry v ose údolí a mořské a pevninské brízy.

Katabatické a anabatické větry se objevují především v členitém reliéfu krajiny. V případě katabatických větrů vítr vane v noci po svazích vyvýšenin do údolí, u anabatických větrů je tomu naopak – vítr vane ve dne z nížin podél svahů do vyšších hladin. Vrstva těchto větrů má tloušťku asi 2 až 20 m nad zemský povrch a rychlost proudění dosahuje 1 až $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Větry v ose údolí se chovají stejně jako větry katabatické a anabatické a také spolu úzce souvisejí. V noci tedy proudí při zemi vzduch v ose údolí směrem dolů a ve dne směrem vzhůru. Tyto větry vanou rychlostí asi 1 až $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ve vrstvě 10 až 400 m nad zemí.

Pevninské a mořské brízy se označují jako systém proudění vzduchu na rozhraní přiměřeně velké vodní plochy a okolní pevniny [6]. V ČR jsou to především velké vodní plochy jako například nádrž Lipno v jižních Čechách nebo Novomlýnské nádrže na jižní Moravě. Při pevninské bríze vítr vane směrem k vodní ploše, při mořské (jezerní) bríze vane

směrem od vodní plochy nad pevninu. Tloušťka vrstvy proudění se v tomto případě vyskytuje od 100 do 500 m nad zemským povrchem a dosahuje rychlostí asi 1 až 2 m·s⁻¹ [6].

Místní větry tedy silně ovlivňují hodnoty přízemního větru a jsou důležité například i při výběru umístění a směru budoucího letiště a jeho dráhového systému [14].

1.4 Nebezpečné větrné jevy

Rychlost větru a směr větru vůči dráhovému systému zásadně ovlivňuje výkonnost letadel a použitelnost letišť. Nebezpečné větrné jevy se vyznačují především relativně rychlými, zásadními a nepředpokládanými změnami v těchto veličinách. Může jít ovšem i o stálé proudění, jehož rychlost dosahuje velmi vysokých hodnot. Za nebezpečné větrné jevy jsou považovány následující, jejichž popisy byly sepsány podle literatury [17].

1.4.1 Náraz větru

Jestliže se rychlost větru krátkodobě zvýší, nebo nastane krátkodobý odklon od převládajícího směru větru, nazýváme takový jev náraz větru. V meteorologii se obecně považují za kritéria pro náraz větru zvýšení rychlosti o 5 m·s⁻¹ na dobu alespoň 1 s, ale ne více než 20 s, anebo odchýlení jeho směru o více než 45° po stejný časový interval. Tento jev může být vyvolán mechanickými nebo termickými vlivy a může mít výraznou opakovací frekvenci.

Mezi důležitou charakteristiku větru patří i nárazovitost větru, která popisuje vítr krátkodobě měnící rychlost o více než 5 m·s⁻¹. Zdrojem tohoto větru může být turbulence způsobená blízkými překážkami nebo víry v závětrí větších překážek.

Kritéria pro udávání nárazů větru v letecké meteorologii jsou uvedena v kap. 4.2.

1.4.2 Střih větru

Střih větru je prostorová změna vektoru rychlosti proudění připadající na jednotkovou vzdálenost. Lze jej rozdělit na horizontální střih větru, kdy se vektor rychlosti větru mění ve směru horizontální roviny a vertikální střih větru, u kterého se vektor rychlosti větru mění ve směru vertikální roviny. Nejčastěji se uvažuje vertikální střih větru.

Jedná se o významný meteorologický jev hlavně pro leteckou dopravu. Letecká meteorologická služba musí vydávat výstrahu na střih větru, jestliže dojde k překročení určitých podmínek. Tyto podmínky jsou určeny podle směrnic ICAO.

Střihem větru se dále zabývá kap. 3.2.

1.4.3 Húlava

Je náhlé zvýšení rychlosti větru, který je značně nárazovitý a často mění směr. Většinou se objevuje při přibližování bouřky nebo silné přehánky, u kterých dochází ke snižování základny oblačnosti a obloha se zbarvuje do tmavošeda. Tuto situaci lze pozorovat v létě před přechodem obvykle studené fronty. V tomto případě se jedná o frontální húlavu a nárazy přízemního větru mohou dosahovat až 45 m·s⁻¹. Nárazy větru vznikají silnými výstupnými a sestupnými proudy pod bouřkou, které mají tvar vírů s kvazihorizontální osou.

1.4.4 Propad studeného vzduchu (downburst)

Je extrémně silný sestupný proud vzduchu, jehož síla může vyvolávat až ničivé účinky u zemského povrchu. Horizontálně může downburst dosahovat průměru několika metrů až desítek kilometrů. Podle jeho horizontálního rozsahu se dělí na microburst a macroburst. Objevuje se u konvekčních oblaků.

1.4.5 Turbulence

Obecně je to fyzikální jev, který popisuje existenci nepravidelných vírových pohybů v proudící tekutině, které se projevují turbulentními změnami rychlosti proudění. V meteorologii se tedy jedná o turbulenci v proudícím vzduchu, kde rozměry těchto vírů dosahují velikosti od několika mm do stovek m. V atmosféře je turbulence těsně spjata s nárazovitostí větru a působí promíchávání vzduchu. Rozděluje se na několik druhů. Mezi některé z nich patří následující.

Turbulence bouřková je velmi intenzivní turbulence uvnitř nebo v blízkosti bouřkového oblačného systému.

Turbulence konvekční je turbulence vznikající a vyskytující se při termické konvekci.

Turbulence mechanická je způsobená mechanickými příčinami. Vyskytuje se především v mezní vrstvě atmosféry působením vertikálního stříhu větru a při obtékání překážek a nerovností zemského povrchu.

Mezi důležité faktory hlavně při vzletech a přistáních patří turbulence v úplavu. Ta je vyvolaná víry na koncích křídel, které vznikají při jejich obtékání a vytváření vztlaku. Účinek této turbulence na jiná letadla závisí na vzájemné vzdálenosti letadel a poměru jejich hmotností a rychlostí.

Další turbulence vzniká vzduchovými víry za pracujícími vrtulovými, turbovrtulovými, především však proudovými motory.

2 MĚŘENÍ VĚTRU NA LETIŠTI

Charakteristiky větru lze určovat několika způsoby. Mezi nejstarší patří vizuální odhadování směru a rychlosti větru, pomocí jeho projevů, jako je třeba ohýbání stromů nebo unášení kouře. Z těchto projevů lze určit směr i rychlost vanoucího větru. Sílu větru lze podle účinků tlaku větru na různé předměty určit podle Beaufortovy stupnice (příloha 1). Jedná se ovšem o silně subjektivní a nepřesná určování, která by v dnešní době nezaručovala dostatečnou míru bezpečnosti v provozech, kde je vítr jedním z limitujících faktorů. Přístrojům v současnosti používaným pro měření rychlosti a směru větru, tzv. anemometrům, položil základ anglický vědec Robert Hooke v roce 1667. Druhy a principy dnes používaných anemometrů v ČR jsou uvedeny v kap. 2.2 a kap. 2.3.

V letectví je měření větru velice důležité. Nejen že je vítr a střih větru jedním z limitujících faktorů především při vzletu a přistání letadel a určování dráhy v používání, ale podle převažujícího směru větru se například určuje i směr dráhy budoucího letiště [14]. Proto je vítr uváděn v leteckých meteorologických zprávách, předpovědích a výstrahách (viz kap. 4).

Na rozdíl od pozorování synoptických stanic, které měří vítr na jednom místě a jeho hodnoty charakterizují velkou plochu, jsou pozorování v letecké meteorologii často prováděna na několika místech na letišti a přilehlých plochách, aby charakterizovaly určitou oblast, především oblast přiblížení, dotyku a vzletu určité dráhy.

Rychlost přízemního větru může být udávána v metrech za sekundu, kilometrech za hodinu nebo uzlech a směr větru je udáván ve stupních měřených po směru hodinových ručiček od zeměpisného severu.

Při výběru míst pro instalaci měřicích přístrojů na letišti je především důležité, aby místo a situování přístrojů splňovalo provozní požadavky, aby přístroje nebo jejich provoz nepředstavovaly riziko pro leteckou navigaci a aby přítomnost nebo pohyb letadel po letišti (pojízdní, rozjezdy, přistání, parkování atd.) a různá letištní zařízení zásadně neovlivňovaly měřené hodnoty.

Činnost leteckých meteorologických stanic musí být dostatečně často kontrolována, aby byl zajištěn vysoký standard pozorování a přístroje a jejich ukazatele fungovaly správně.

Na mezinárodních letištích jsou stanoviště ATS, řídicí věže a přibližovací stanoviště běžně vybaveny indikátory rychlosti a směru větru a ATCo podávají přilétávajícím a odlétávajícím letadlům jejich hodnoty. Aby byla zajištěna shoda měřených údajů mezi stanovišti ATS a meteorologickými stanicemi, měly by být obě stanoviště připojena ke stejným senzorům.

Měření je průměrný směr a rychlost větru, stejně jako nárazy a určité výrazné odchylky v jeho směru i rychlosti. Zprávy o větru, které jsou rozšiřovány i mimo letiště původů, mají stejný obsah jako zprávy o synoptických pozorováních (10minutové průměrování a směr větru udávaný vzhledem k zeměpisnému severu) a hodnoty by měly charakterizovat všechny dráhy. Pro místní pravidelné a mimořádné zprávy a pro displeje indikátorů větru na stanovištích ATS je perioda průměrování 2 minuty jak pro rychlost, tak i pro směr větru, a hodnoty by měly charakterizovat dráhu v používání. Nárazy větru se udávají, pokud je průměrná hodnota rychlosti větru překročena o 10 KT a více (viz kap. 4.2).

Senzory směru a rychlosti větru by měly být umístěny asi 10 m nad dráhou a měly by poskytovat měření charakterizující podmínky přibližně v místech odpoutání a dotyku.

Pokud jsou senzory nainstalovány tak, aby reprezentovaly podmínky v místech vzletu a přistání, musí být zabráněno jakémukoliv rušení způsobenému míjením letadel v blízkosti těchto senzorů (falešné indikace nárazů větru při přistání a vzletech). Kvůli podobným důvodům nesmí být umístěny příliš blízko budov nebo pahorků nebo v oblastech ovlivněných klimatickými podmínkami (brízy, časté bouřky, atd.). Doporučované standardní umístění přístrojů měřících vítr je na otevřeném prostranství definovaném jako oblast, v níž je vzdálenost mezi anemometrem a jakoukoliv překážkou nejméně desetinásobkem výšky překážky [7].

2.1 Vizuální prostředky

Odhadování charakteristik větru pomocí vizuálních prostředků bylo prvním způsobem, jak určit vítr na letištích nebo letectvím používaných plochách. Pro určování směru větru se používala větrná růžice pevně nastavená do světových stran, nad kterou se podle větru otáčela větrná směřovka (obr. 2.1), jejíž princip se používá dodnes.

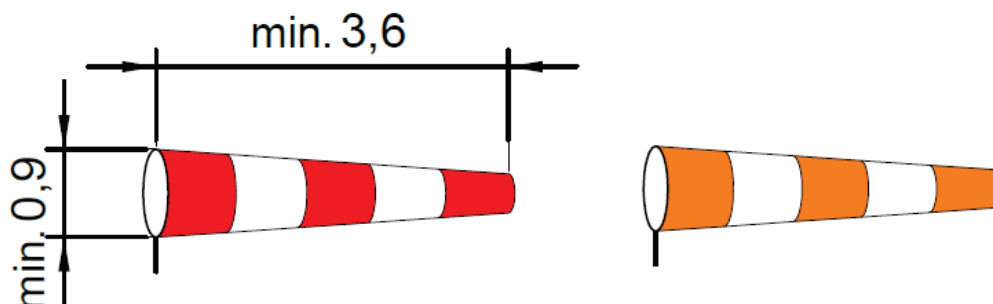


Obr. 2.1 Větrná směřovka

Mezi v současnosti používané vizuální prostředky k určování větru patří především větrný rukáv, neboli „pytel“. Je zhotoven z tkaniny, má kuželovitý tvar bez špičky, jeho širší konec je upevněn k pevnému kruhu, který se volně otáčí kolem svislé osy. Natočení rukávu udává přibližný směr větru. Při malých rychlostech větru rukáv ztrácí svoji napjatost, kterou má při vysokých rychlostech, a jeho konec upadá vlivem gravitace k zemi. Takto lze velmi omezenou mírou odhadovat i rychlost větru. Větrný rukáv poskytuje přímou a nejaktuálnější informaci o přízemním větru především pilotům na pohybových plochách letiště.

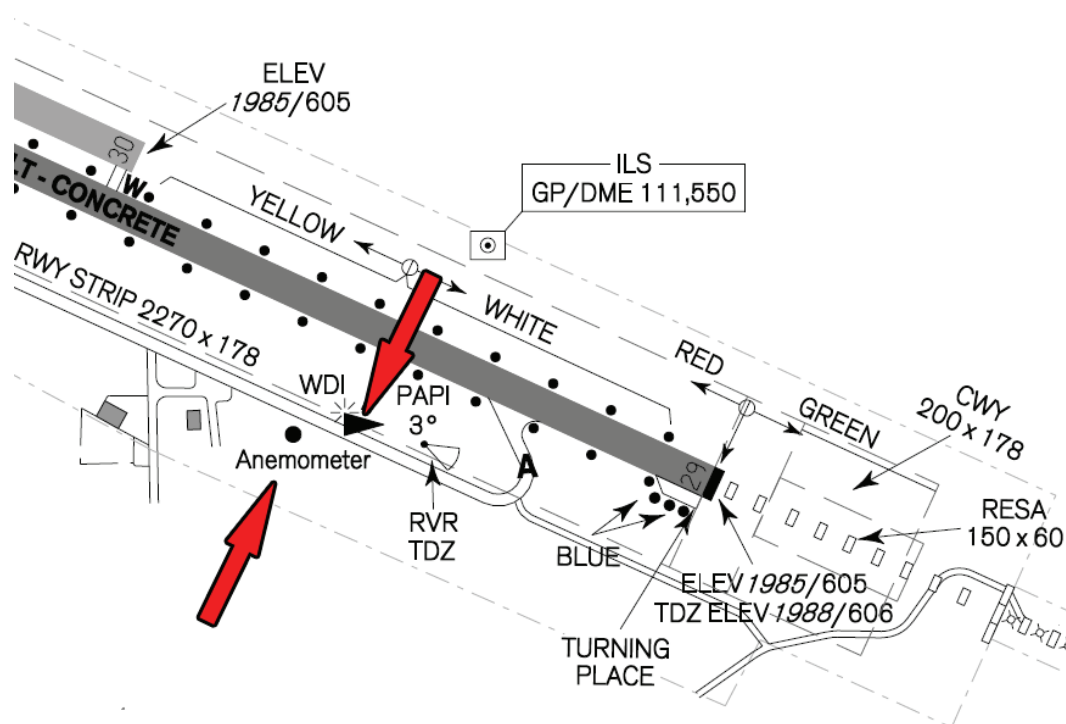
Podle předpisu [14], který toto zařízení pojmenovává ukazatel směru větru, musí mít každé letiště alespoň jeden tento ukazatel, který musí být v případě letiště uzpůsobeného pro noční provoz, nasvícen. Musí být ohraničený bílou kružnicí o průměru 15 m a viditelný jak z letících letadel, tak z letadel na pohybové ploše. Rukáv by měl být umístěn na vhodném

prostranství, aby nebyl ovlivněn vzdušnými víry vyvolanými blízkými objekty. Měl by být rozměrově a barevně proveden podle obr. 2.2, v němž číselné údaje představují hodnoty v m.



Obr. 2.2 Provedení ukazatele směru větru [14]

Ukazatelé směru větru, anglicky wind direction indicator (WDI), a anemometry jsou vyobrazeny i na letištních mapách (ADC) publikací AIP. Na obr. 2.3 je výřez letištní mapy letiště Karlovy Vary, konkrétně oblast začátku dráhy 29, kde je situován anemometr i ukazatel směru větru poskytující informaci o přízemním větru v oblasti dotyku této dráhy.



Obr. 2.3 Výřez letištní mapy s vyobrazením anemometru a větrného rukávu [1]

2.2 Miskový a lopatkový anemometr a větrná směřovka

Miskové a lopatkové anemometry jsou v oboru meteorologie standardními přístroji měřícími směr a rychlost větru. V současné době jsou postupně nahrazovány ultrasonickými anemometry (kap. 2.3). Jejich konstrukce dovozuje jak stálé, tak mobilní provedení. Původních konstrukcí existuje několik. Jedna obsahovala mechanický převod, kterým byla

hřídel spojená s Robinsonovým miskovým křížem přímo spřažena šnekovým ozubením na ručičku kruhové stupnice, která při jeho stálém otáčení neustále ukazovala určitý nárůst natočené dráhy. Správným poměrem ozubení a velikosti ukazatele bylo možné současným měřením času určit rychlost větru podle obecného vzorce pro rychlost. Později byl přidán pružinový převod, kterým bylo přenášeno otáčení hřídele na ručku, která již ukazovala na stupnici ocejchovanou hodnotami rychlosti. Konstrukce lopatkového anemometru fungovaly podobně.

Robinsonův miskový kříž je symetrické těleso, které se otáčí kolem vertikální osy a které je tvořeno třemi nebo čtyřmi miskami na ramenech umístěných rovnoměrně po obvodu v horizontální rovině.

K nejjednodušším konstrukcím anemometrů patří Wildův anemometr. U tohoto druhu byla na společné otočné tyči s větrnou směrovkou odklápěcí destička, která se prouděním vzduchu vychylovala od vertikály. Úhel odklopení destičky ze stabilní polohy byl přečten na stupnici již ocejchované hodnotami rychlosti.

V současnosti existuje několik používaných konstrukcí anemometrů. Mimo jejich dvojitého provedení, kdy je větrná směrovka od anemometru oddělena, se používá i provedení sloučená. Například provedení, kdy na větrné korouhvi na obr. 2.6 je místo závaží na její náběžné hraně umístěn lopatkový anemometr. Sloučené provedení ale vyžaduje složitější konstrukci a převodový či pružinový mechanismus nebo senzorovou síť. V takovém případě hrozí větší riziko chyb a poruch.

Tyto anemometry s větrnou směrovkou jako součástí jediné přenosné konstrukce jsou dodnes velmi oblíbené na mnohých sportovních letištích pro jejich snadné a rychlé, ovšem ne zcela přesné měření. Jejich provedení může být i ruční. Výška umístění anemometru v těchto případech by měla být 2 m nad zemí. Přenosné anemometry mohou být mechanické (součtové) nebo indukční, jejichž princip je založený na Foucaultových prouděch. I přesto v České republice tyto přístroje nahrazují moderní stálé elektronické meteorologické centrály, které většinou využívají miskových anemometrů a větrných směrovek s digitálním výstupem, jak je popsáno níže.

Výhodou těchto druhů anemometrů je jejich konstrukční jednoduchost, která je zachována i v současné formě přístrojů s digitálním výstupem. Nevýhodou oproti jiným druhům anemometrů, mezi které patří například ultrasonický, laserový a odporový anemometr, je přítomnost pohyblivých částí, které podléhají namáhání a opotřebení. To se projeví například nutnou pravidelnou kontrolou ložisek a kontrolou čistoty misek nebo lopatek. Další nevýhodou je setrvačnost hnané části anemometru, která zapříčiňuje určité zpoždění při relativně rychlém nárůstu rychlosti větru a naopak přetáčení při rychlém snížení rychlosti větru. Proto je nutné, aby byla hnaná část anemometru co nejlehčí a tak byl vliv setrvačnosti minimalizován [13].

Mechanické nebo elektrické přístroje, které zaznamenávají průběh rychlosti, směru, popřípadě i nárazovitosti větru, se nazývají anemografy.

2.2.1 Princip

U lopatkového anemometru jsou na hřídeli radiálně umístěné lopatky, které jsou vůči vanoucímu větru nastavené tak, aby na nich proud vzduchu, který je obtéká, vytvářel vztlak způsobující rotaci hřídele.

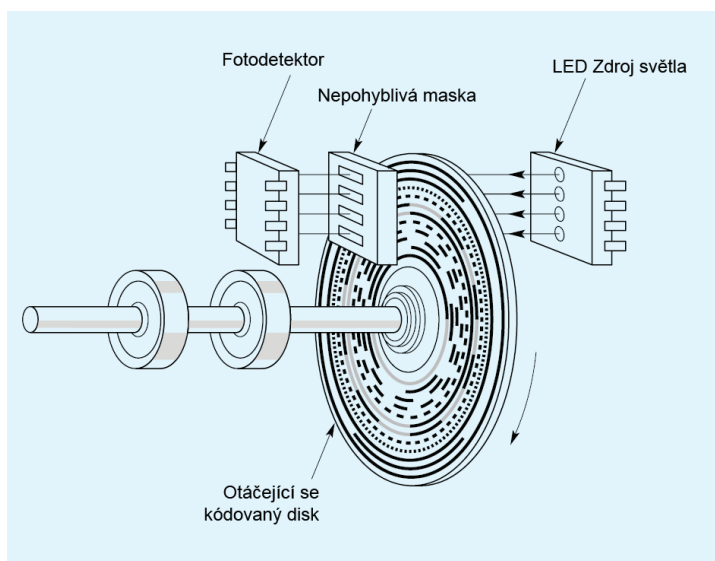
U miskového anemometru je s hřídelí spojený Robinsonův miskový kříž, u kterého jsou misky orientovány svým dnem vždy do jednoho směru otáčení. Vůči vanoucímu větru je

miska na jedné straně vydutá a klade větru určitý odpor. Na druhé straně hřídele působí vypouklá miska také určitý odpor, který je však asi čtyřikrát menší, než odpor vyduté misky. Proto dochází k rotaci hřídele [13].

Po celém světě existuje mnoho výrobců těchto zařízení a lze předpokládat, že každý používá odlišné konstrukční řešení. Následující konstrukci používá finská firma Vaisala v přístrojích na obr. 2.5 a obr. 2.6.

Robinsonův miskový kříž je připevněn k hřídeli, na níž je nasazen přerušovací kroužek. Tento kroužek přerušuje několikrát (v případě anemometru na obr. 2.5 čtrnáctkrát) za jednu otáčku hřídele světelný signál, který je zachycován fototranzistorem. Z počtu přerušení signálu za jednotku času je určována rychlost otáčení hřídele a z ní vypočítána skutečná rychlost větru. Tento přepočítání závisí na mnoha faktorech a je možné jej na základě statistických měření matematicky upravit pro zachování větší linearitě výsledků. Jedná se tedy o optoelektrické měření [19].

Konstrukce větrné směrovky na obr. 2.6 také využívá optoelektrické měření. Tento způsob měření je za určitých okolností přesnější a v mnoha ohledech výhodnější než mechanické měření. Samotná směrovka, která je vzhledem k hřídeli vyvážená závažím na její špičce, je s touto hřídelí pevně spojena. Na hřídel je připevněný disk osázený 6bitovým Grayovým kódem ve formě průhledných sektorů. Disk je na jednom místě poblíž jeho okraje z jedné strany ozařován světelným zdrojem. Průhlednými sektory disku světlo prochází a přes nepohyblivou masku, která zabezpečuje přesnou pozici průchodu světla, dopadá na fotorezistor, který je z počtů a kombinací dopadajícího světla schopen určit jednoznačný úhel natočení korouhve. Přibližné technologické provedení tohoto procesu je znázorněno na obr. 2.4. Grayův kód je pro tyto účely široce využíván i v jiných technických zařízeních. Jeho hlavní výhodou je skutečnost, že byl navržen tak, aby každá kombinace vždy navazovala na předchozí, která ji hodnotově předchází o jediný hodnotový krok, jejichž řazení je předem dané. Proto není možné dosáhnout nespojitého měření. Grayův 6bitový disk je omezen maximálním počtem 64 hodnot, tedy možných směrů, které lze naměřit. Jestliže se počet stupňů v plném úhlu vydělí počtem možných naměřitelných směrů, výsledkem bude cca $5,6^\circ$. Proto bude tato směrovka schopná měřit úhel svého natočení s chybou cca $\pm 2,8^\circ$. Tuto přesnost lze podstatně zlepšit použitím více než 6bitového Grayova kódu. Pro použití v letectví je však 6bitový kód dostačující [20].



Obr. 2.4 Měření úhlu natočení pomocí Grayova disku [www.kntu.ac.ir]



Obr. 2.5 Miskový anemometr Vaisala WAA151 [19]

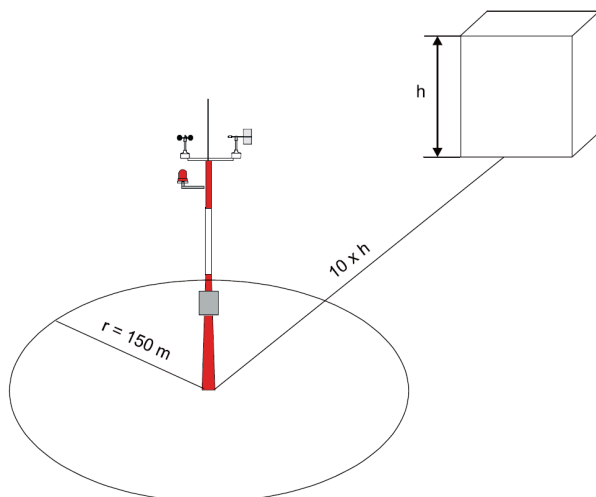


Obr. 2.6 Větrná korouhev Vaisala WAV151 [20]

2.2.2 Použití

Anemometry se měří horizontální složka proudění. Pro tyto účely musí být rovina otáčení miskového kříže rovnoběžná s místní horizontální rovinou. Pro zajištění provozuschopnosti anemometrů i v rozsahu teplot vzduchu pod $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ je nezbytné jak anemometr, tak i větrnou směrovku vyhřívat. Anemometry s digitálním výstupem, jaké byly popsány výše, je nutné připojit ke sběrné a výpočetní jednotce, která poskytuje digitální data pro jejich uložení v elektronické formě a zobrazení na displejích meteorologických pracovníků a ATCo (obr. 5.2). Data lze statisticky zpracovávat v jejich elektronické formě a určovat tak minimální, maximální a průměrné hodnoty rychlosti a směru větru za určitý čas, které jsou pro letecké použití žádoucí. Vyhřívané anemometry tohoto typu se vyznačují širokou škálou provozních teplot a velkým rozsahem měřitelných rychlostí větru. Nevýhodou je zpoždění nebo nepřesnost anemometru z důvodu setrvačnosti při měření nárazovitosti větru. Konkrétní technické údaje pro pospané přístroje jsou uvedeny v příloze 2 a 3.

Obr. 2.7 zobrazuje doporučené umístění sady pro měření větru Vaisala WA15 (obsahuje výše popsané přístroje WAA151 a WAV151):



Obr. 2.7 Doporučené umístění sady pro měření větru Vaisala WA15 [20]

Tyto anemometry jsou v ČR standardním letištním vybavením a vyskytují se na všech mezinárodních letištích.

2.3 Ultrasonický anemometr

Neboli sonický, akustický nebo ultrazvukový anemometr. První ultrasonické anemometry se začaly objevovat v 70. letech 20. století. V současnosti existuje několik druhů těchto anemometrů několika výrobců. Liší se od sebe především počtem a umístěním měřících ramen a tras, která jsou vidět na obr. 2.8. Jejich hlavními výhodami jsou především [3]:

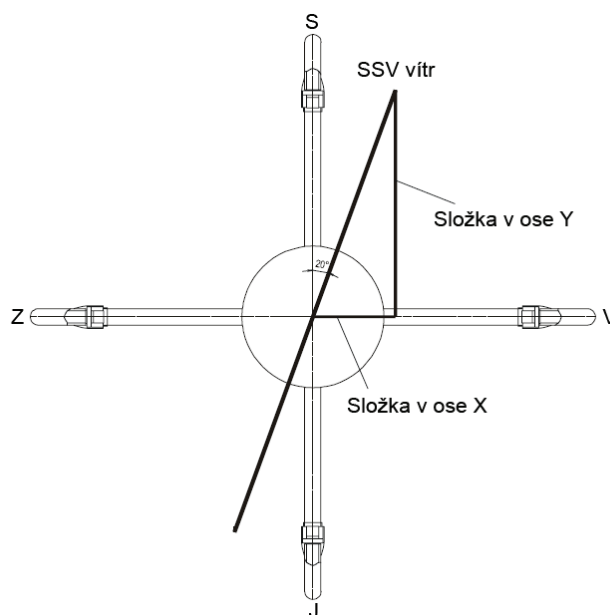
- nemají žádné pohyblivé části, proto dochází jen k minimálnímu namáhání a opotřebení
- dosahují měřicí frekvence až v řádu desetin MHz
- okamžitě reagují na změny rychlosti větru, jeho směru a na nárazy
- jedno zařízení měří rychlost i směr větru

Nevýhody ultrasonického anemometru jsou:

- vyšší pořizovací cena
- složitá technologie vyžadující přesnou a odbornou manipulaci

2.3.1 Princip

V letectví se používají 2D ultrasonické anemometry, které měří horizontální složku proudění. Jejich konstrukce je rozdílná od jejich 3D provedení, ale princip činnosti je stejný.



Obr. 2.8 Půdorys čtyřramenného ultrasonického anemometru Thies Clima 2D [3]

Na obr. 2.8 je uveden čtyřramenný ultrasonický anemometr s rameny umístěnými do hlavních zeměpisných směrů. Konce ramen obsahují vysílače i přijímače zvukového signálu ovládané řídicí jednotkou a vzdálenost protilehlých snímačů je přesně dána konstrukcí (v tomto případě 200 mm). Každé měření zahrnuje na obou dvojicích ramen dvě dílčí měření. Na ramenech ve směru zeměpisného poledníku (na obr. 2.8 svislých) je nejprve změřen čas šíření signálu ve směru S-J a poté ve směru J-S. Pokud vítr nevane přesně kolmo na osu těchto

ramen, bude vždy jeden signál o složku vanoucího větru v tomto směru urychlen a druhý bude o stejnou složku opožděn (jestliže zanedbáme změnu rychlosti větru mezi dílčími měřeními), jak je vidět na vzorcích 2.1 a 2.2 [18]:

$$t_1 = \frac{s}{a + v_s} \quad [\text{s}] \quad (2.1)$$

$$t_2 = \frac{s}{a - v_s} \quad [\text{s}] \quad (2.2)$$

Rychlost složky větru v tomto směru je poté určena ze vzorce 2.3:

$$v_s = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.3)$$

kde (platí pro vzorce 2.1, 2.2 a 2.3):

- t_1 – čas šíření signálu od vysílače k přijímači urychleného o složku větru v měřeném směru [s]
- t_2 – čas šíření signálu od vysílače k přijímači zpomaleného o složku větru měřeném směru [s]
- s – vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem [m]
- a – rychlost zvuku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
- v_s – složka rychlosti větru ve směru dílčího měření [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Stejně tak je provedeno i měření na ramenech ve směru zeměpisné rovnoběžky (směry Z-V a V-Z). Jak je vidět ve vzorcích (2.1) a (2.2), měření času je závislé na rychlosti zvuku, která je závislá na teplotě vzduchu. Změny této teploty jsou však mezi dílčími měřeními zanedbatelné, takže může být použita pro výpočet časů t_1 a t_2 stejná rychlost zvuku. Takto provedené měření proto není závislé na teplotě vzduchu. Ta však ovlivňuje maximální možnou frekvenci měření. Na obr. 2.8 je znázorněno, jak lze z měření složek rychlosti větru v obou směrech vypočítat směr větru za použití goniometrických funkcí.

2.3.2 Použití

Ultrasonické anemometry se vyznačují velmi nízkým minimálním prahem citlivosti a vysokou přesností měření zahrnující jak vysokou citlivost (rozlišení), tak vysokou frekvenci měření. Konkrétní údaje jsou uvedeny v příloze 4.

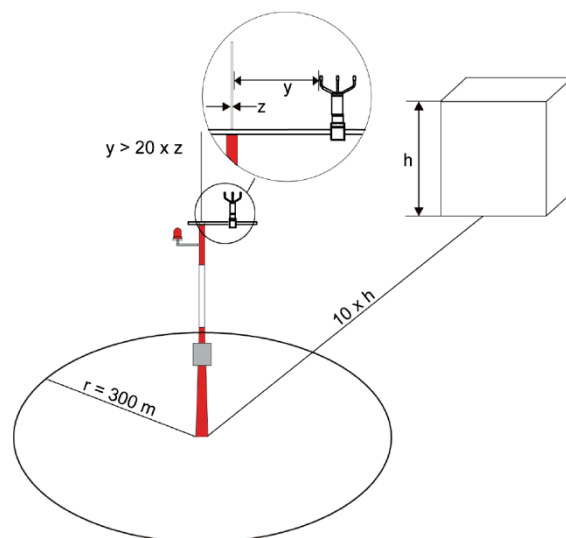
Ultrasonický anemometr je nutné vyhřívat a zamezit vzniku tak námrazy a usazování sněhu nebo mrznoucího deště na jeho měřicích částech (většinou od +4 °C). Na anemometrech tohoto typu, u kterých taková možnost existuje a není možné je umístit jinak, je nutné připevnit klec proti ptactvu.

Tento druh anemometru musí být připojen k řídicí jednotce, kde probíhají všechny potřebné operace pro řízení jeho funkcí a výpočet rychlosti a směru větru. Výhodou tohoto zapojení je možnost různých druhů zobrazení naměřených dat, jak je vidět na obr. 5.2, a široká škála nastavení senzorů podle potřeb uživatele, možnost ukládání dat a především průměrování a určování maxim a minim naměřených hodnot za určitý čas, které je v letectví potřebné.

Na obr. 2.10 je vyobrazeno doporučené umístění ultrasonického anemometru.



Obr. 2.9 Ultrasonický anemometr Vaisala WMT 700 [23]



Obr. 2.10 Doporučené umístění ultrasonického anemometru Vaisala WMT700 [23]

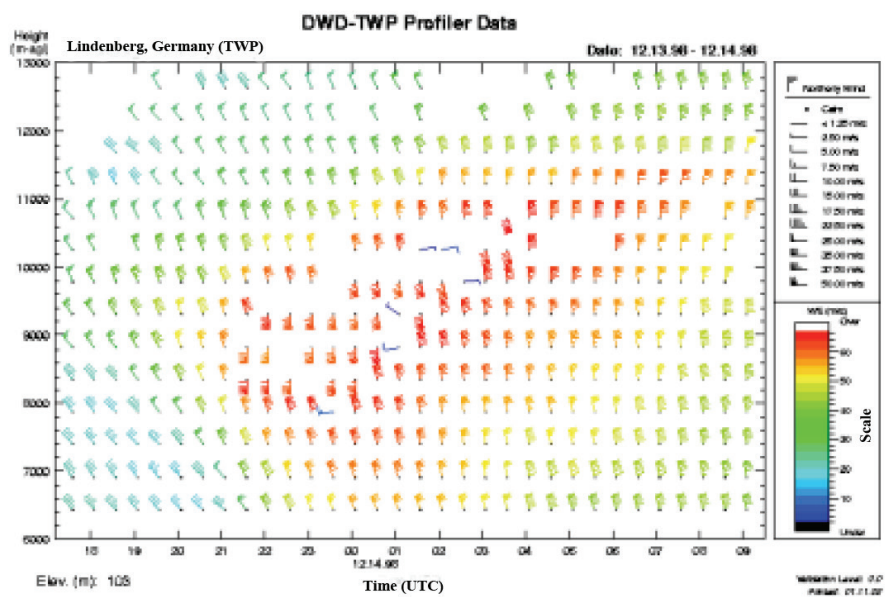
V příloze 4 je uveden list technických parametrů ultrasonického anemometru Vaisala WMT700 (obr. 2.9), který byl v roce 2011 nainstalován na letišti Praha-Ruzyně.

2.4 Další prostředky měření

Od 60. let 20. století se začaly vyvíjet a testovat nové prostředky pro měření různých prvků a veličin v atmosféře. Byly založeny na příjmu části vyslané energie odražené z různých míst atmosféry. Mezi tyto přístroje patří například SODAR, neboli akustický lokátor [17], který zachytává akustické signály odražené od termiků [4]. Odražené signály jsou zachytávány citlivým směrovým mikrofonom. Pokud je toto zařízení vybaveno třisměrovou anténní soustavou, může využívat navíc i Dopplerova efektu a pomocí výpočetní techniky určovat mimo jiné i horizontální složky větru. Dnes jsou tato modernizovaná zařízení označována jako WPR (wind profiler radar) a zahrnují i jiné pokročilé technologie.

WPR je ideálním prostředkem pro měření a předpovídání stříhu větru. Jeho výstupem je řez atmosférou, kde jsou v určitém rozptylu změřeny rychlosti a směry větru do výšky několika kilometrů, jak je vidět na obr. 2.11. Nevýhodou SODARu je úzká oblast, ve které měření probíhá.

I když je v ČR republice zařízení SODAR instalováno, žádné není využíváno leteckou meteorologickou službou a není umístěno v blízkosti letiště. Nejbližší zařízení WPR pro letecké účely je instalováno na letišti Schwechat ve Vídni [2].



Obr. 2.11 Výstup WPR [4]

3 VLIV VĚTRU NA LETOVÝ PROVOZ

Jak již bylo uvedeno výše, vítr je z provozního hlediska jedním ze základních limitujících faktorů v letectví, a to z několika důvodů. Tím nejzákladnějším je vliv na výkony letadel. V této práci bude pojednáváno hlavně o letounech, avšak vliv na ostatní letadla (například vrtulníky) je obdobný.

Letouny létají v zemské atmosféře, tedy v tekutém prostředí, které se může pohybovat. Tento jev nastává, pokud vane vítr. Rychlost letounů z hlediska aerodynamiky je tedy nutné uvažovat vzhledem k tomuto pohybujícímu se prostředí. V aerodynamice je na rychlosti obtékání tělesa závislý vztlak i odpor letounů.

Jestliže vítr vane kolmo na směr pohybu letounu, nazývá se boční vítr, anglicky crosswind, a může vát zprava anebo zleva. Pokud vítr vane proti směru pohybu letounu, nazývá se čelní vítr, anglicky headwind, a pokud vane ve směru pohybu letounu, nazývá se zádový vítr, anglicky tailwind.

3.1 Složky větru při vzletu a přistání a jejich vlivy na výkonnost letadel

Při vzletu a přistání se uvažuje s vektorem větru rozloženým na dvě vzájemně kolmé složky. První složka je kolmá na RWY, která bude použita, a udává boční složku větru. Druhá je s RWY rovnoběžná a může vanout ve směru vzletu nebo přistání, kdy se jedná o zádovou složku větru, anebo může vanout proti směru vzletu nebo přistání, a potom se jedná o čelní složku větru.

Jestliže vane vítr proti směru vzletu a letoun stojí na dráze, pak již při nulové rychlosti vzhledem k zemi jsou jeho nosné plochy „ofukovány“ větrem a vzniká na nich vztlak. To znamená, že letadlo dosáhne rychlosti odpoutání dříve, než za bezvětří. Lze tedy konstatovat, že vítr vanoucí proti směru vzletu zkracuje potřebnou délku rozjezdu i vzletu a zkracuje potřebnou délku přistání. Naopak zádový vítr nebo jeho složka bude všechny tyto hodnoty prodlužovat.

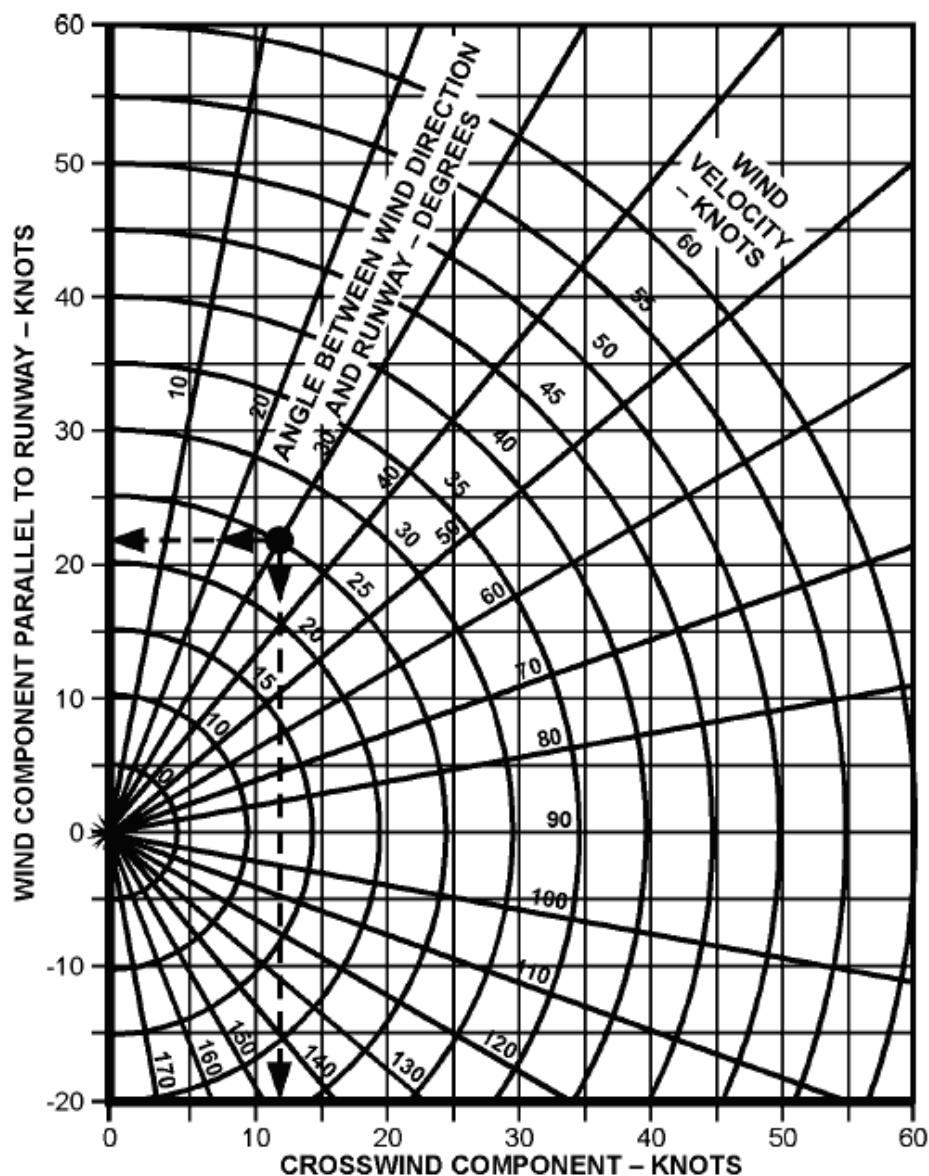
Účinnost boční složky větru a její vliv na letoun je zákonitě provázán s ostatními meteorologickými veličinami. Jedná se především o hustotu vzduchu, která je vázána na tlak i teplotu. Nízká hustota má negativní vliv na aerodynamickou výkonnost letounu. K vytváření potřebného vztlaku dochází až při vyšších rychlostech, a proto letoun lépe a déle přiléhá k dráze a boční vítr nemá z důvodů dobré trakce po dráze takový vliv. Naopak zhoršená trakce po dráze nastává při vzletu a přistání na kontaminované dráze, především pokud se jedná o namrzlou dráhu s velmi nízkým koeficientem tření. Ovšem s klesající hustotou klesá také účinnost směrového kormidla, kterým se vliv bočního větru eliminuje. Stejný vliv má například i vlhkost vzduchu.

Boční vítr nebo jeho složka nemá tak výrazný vliv na délku vzletu a přistání, jako je tomu u čelního nebo zádového větru, ale představuje riziko z hlediska říditelnosti a ovladatelnosti letounu jak na zemi, tak i ve vzduchu po vzletu nebo při přistání. Jeho maximální složka je určena pro každý typ letounu zvlášť a je uvedena v letové příručce. Někdy bývá uvedena i maximální složka bočního větru pro vzlet nebo přistání na kontaminovaných drahách. Letouny vybavené autopilotem s funkcí automatického přistání mají zvlášť určenou i maximální složku bočního větru pro jeho použití, obvykle upravenou i pro různé dráhové dohlednosti (RVR). U některých letounů je maximální složka bočního větru určena pro vzlet a přistání zvlášť, navíc může být určen i limit pro různá nastavení vztlakových klappek. Příklad stránky letové příručky letounu B737-800 je vidět v příloze 5.

Všechny tyto složky větru představují provozní omezení letounů, přičemž jsou určeny pro každý typ letoun zvlášť. Boční vítr je tedy omezením z důvodů říditelnosti, zádový vítr především výrazně prodlužuje potřebnou délku rozjezdu a vzletu a je tedy nutné při předletové přípravě pomocí grafů v letové příručce vyčíst tyto hodnoty a porovnat je s vyhlášenými použitelnými délkami vzletu a rozjezdu, popřípadě s vyhlášenou použitelnou délkou přistání daného letiště. Tyto hodnoty závisejí i na vzletové nebo přistávací hmotnosti, konfiguraci letounu, teplotě vzduchu a nadmořské výšce letiště, případně i na sklonu RWY.

Pro snadné určení boční, čelní a zádové složky větru pro porovnání s provozními limity letounů se používá diagram na obr. 3.1.

Wind Component Chart



Obr. 3.1 Graf určení složek větru letové příručky letounu Boeing 737NG [11]

Při přiblížení a ve fázi letu se v letecké praxi se pracuje s těmito vektory rychlostí:

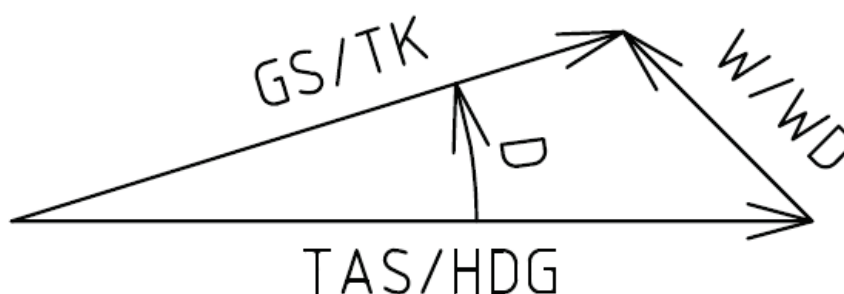
- **TAS/HDG** – vektor pravé vzdušné rychlosti (TAS – true air speed) představuje skutečnou rychlost letounu vůči prostředí, ve kterém se pohybuje (vzduchu) a směr podélné osy letounu (HDG – heading)

- **W/WD** – vektor větru představuje rychlost (W) a směr větru (WD)
- **GS/TK** – traťová rychlost (GS – ground speed) představuje skutečnou rychlost letounu vůči zemi a směr trati, kterou letoun letí vůči zemi (TK – track)

Z těchto vektorů lze sestavit rychlostní trojúhelník podle vzorce 3.1:

$$\overrightarrow{TAS/HDG} + \overrightarrow{W/WD} = \overrightarrow{GS/TK} \quad (3.1)$$

Jeho použití je znázorněno na obr. 3.2, v němž písmeno D značí úhel snosu (drift angle).



Obr. 3.2 Vektory rychlostí za letu

Na obr. 3.2 je vidět, že rychlost a směr větru zásadně ovlivňuje způsob přiblížení. Při bočním větru je nutné kompenzovat snos, tedy úhel mezi vektorem TAS/HDG a vektorem GS/TK. Z pilotního hlediska existují dva různé způsoby. První spočívá ve vyosení podélné osy letounu směrovým kormidlem do požadovaného úhlu pro kompenzaci snosu a před dosednutím je nutné podélnou osu letounu srovnat s osou RWY. Druhý způsob spočívá v tom, že osa letounu je během přiblížení stejná jako osa RWY, avšak snos větru je nutné kompenzovat příčným náklonem letounu proti větru. Náklon však způsobuje zatáčecí moment, který je nutné vyrušit směrovým kormidlem. Opět platí, že před přistáním musí být letoun srovnán do standardní přistávací polohy.

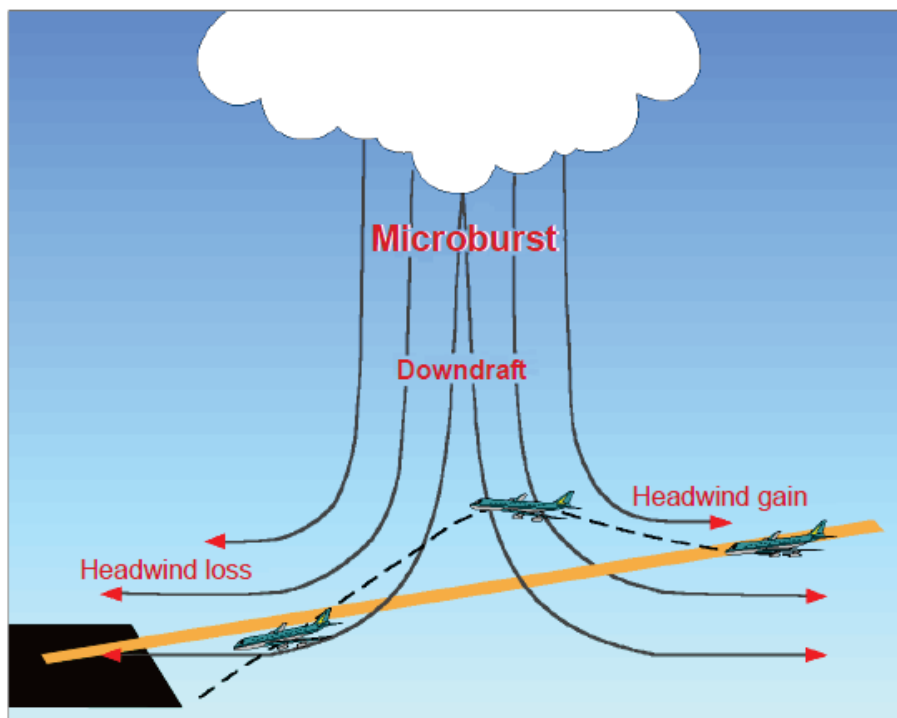
Při protivětru je nutné zvýšit tah motorů a překonávat tak odpor, který vítr způsobuje. Proto se standardně vzlétá a přistává na dráhu v používání, která je vždy orientována alespoň z části proti větru.

3.2 Střih větru

Definice střihu větru je uvedena v kap. 1.5.2. Představuje vysoké riziko pro letouny, které letí blízko pádové rychlosti v aktuální konfiguraci, tedy při přiblížení a po vzletu. Vliv střihu větru je závislý na jeho poloze vůči trase přiblížení, popřípadě vzletu. Pro názornost je uveden obr. 3.3, kde dochází ke střihu větru z důvodů masivního propadu studeného vzduchu, tzv. downburstu (kap. 1.5.4).

Letoun je ustálen na trase přiblížení a letí standardní přibližovací rychlostí. Náhlé zvýšení rychlosti protivětru má za následek snížení hodnoty GS, zvýšení hodnoty TAS a v důsledku toho zvýšení vztlaku, odporu a nabírání výšky. Po prolétnutí jádra downburstu však protivítr mizí a náhle zesiluje zádový vítr, což má za následek razantní snížení hodnoty TAS, a tím úbytku vztlaku. Snížení hodnoty TAS může být tak velké, že rychlost letadla klesne pod

pádovou rychlost v aktuální konfiguraci, a tím propadne do nižší výšky. Pokud nastane dostatečně silný stříh větru blízko nad zemí a pilot včas nezasáhne adekvátně do řízení, může snadno dojít k nouzové situaci až nehodě. Proto je při vlétnutí do stříhu větru standardním postupem okamžité přerušení přiblížení [12].



Obr. 3 Stříh větru [12]

Ke stříhu větru může dojít i za jiných situací než při propadu studeného vzduchu. Jednou z nich je i působení mořské nebo jezerní brízy, která se střetává s proti ní vanoucím převládajícím větrem blízko pobřeží. V místě střetu větrů nastávají prudká výstupná proudění, která mohou stejným způsobem ovlivnit letoun při přiblížení [12].

Moderní letouny současnosti již disponují systémem LLWAS (low-level windshear alert system), který podle letových měření dokáže předpovědět a určit oblasti s předpokládaným stříhem větru a upozornit tak posádku na možné nebezpečí [11].

4 VÍTR A STŘIH VĚTRU V METEOROLOGICKÝCH ZPRÁVÁCH A PŘEDPOVĚDÍCH

V letectví, především v jeho mezinárodním měřítku, je nutné dosáhnout jednotného systému a formy rozšiřování meteorologických informací potřebných k bezpečnému provádění letů a předletové přípravě. Tato forma by měla být jednoznačná a dostatečná.

Meteorologické zprávy a předpovědi TREND jsou sestavovány leteckými meteorologickými stanicemi na základě jejich pozorování a předpovědi TAF je sestavována centrálně meteorologickou služebnou určenou ČHMÚ. Zprávy jsou vyjádřením aktuálních nebo minulých podmínek v určené oblasti, předpovědi mají zachytit pravděpodobný vývoj meteorologické situace v určité oblasti na určitou uvedenou dobu.

Pozorování a zprávy se dělí na pravidelné a mimořádné.

4.1 Letecké meteorologické zprávy a předpovědi

Následující zprávy a předpovědi zahrnují informace o přízemním větru a informují o aktuálních nebo budoucích podmínkách na letišti.

4.1.1 METAR

Zkratka METAR je podle [16] určena pro pravidelnou letištní zprávu (v meteorologickém kódu), anglicky aerodrome routine meteorological report (in meteorological code). Podle [17] se jedná o pravidelnou leteckou meteorologickou zprávu. Podle [15] patří mezi pravidelné zprávy vytvářené na základě pravidelného pozorování leteckých meteorologických stanic. Podává informace o počasí na letišti, na němž bylo pozorování provedeno. Je šifrována kódem METAR a rozšiřována pomocí letecké pevné telekomunikační sítě (AFTN) nebo satelitními systémy i mimo letiště původu. Zpráva METAR se vydává každých 30 minut nebo každou hodinu podle toho, jak je ustanoveno v AIP ČR. Ke zprávě METAR se v ČR připojuje také předpověď TREND, ovšem pouze na některých určených letištích. Také může být určeno, zda se předpověď TREND připojuje vždy, nebo jen v některých časech provozní doby.

4.1.2 SPECI

Podle předpisu [16] zkratka znamená zvláštní letištní zpráva (v meteorologickém kódu), anglicky aerodrome special meteorological report (in meteorological code), podle [17] zvláštní letecká meteorologická zpráva. Patří k mimořádným meteorologickým zprávám. Její vydání je podmíněno změnou některého nebo více meteorologických prvků nad stanovené limity změny. V případě zlepšení podmínek se zpráva SPECI vydává po 10 minutách trvání této změny. Jestliže jde o zhoršení podmínek, vydává se ihned po dosažení nebo překročení stanovených kritérií. Pokud dojde k zlepšení podmínek v 10 minutách předcházejících vydání nové zprávy METAR, zpráva SPECI se již nevydává. Pro měření přízemního větru je standardní 10minutové průměrování zkráceno. Přistávací předpověď TREND se v ČR ke zprávám SPECI nevydává. Zpráva SPECI je kódována stejnojmenným kódem. Obecný tvar kódů METAR a SPECI je téměř totožný. Kritéria přízemního větru pro vydání zprávy SPECI jsou uvedena v tab. 4.1 níže.

4.1.3 TREND

Předpis [16] pojmenovává tuto zprávu jako předpověď trend, anglicky trend forecast. Literatura [17] ji pojmenovává jako předpověď počasí pro přistání. Předpis [15] uvádí název této zprávy jako přistávací předpověď. Předpověď TREND by měla být platná na maximálně 2 hodiny od času pozorování. Stejně jako zpráva SPECI i předpověď TREND je podmíněna změnou některého z meteorologických prvků, které zpráva vyjadřuje. Ovšem v tomto případě se jedná o předpověď, nikoliv o zprávu obsahující hodnoty minulého měření. Přízemní vítr je jedním z prvků, které předpověď TREND zahrnuje. Tuto předpověď vydává meteorolog-prognostik pro vlastní letiště.

4.1.4 TAF

Další druh předpovědi. Předpis [16] udává její název jako letištní předpověď (v meteorologickém kódu), anglicky aerodrome forecast (in meteorological code). Podle [17] se jedná o letištní předpověď počasí. Samotný název zprávy je zkratkou terminal aerodrome forecast a obsahuje předpověď meteorologických prvků na konkrétním letišti pro období delší než 2 hodiny. Podle předpisu [15] nesmí být platnost této předpovědi kratší než 6 hodin a delší než 30 hodin. Předpovědi TAF, které jsou vydávány pravidelně, musí být vydávány v určitých časových intervalech. Předpovědi s platností kratší než 12 hodin musí být vydávány každé 3 hodiny a předpovědi s platností od 12 do 30 hodin musí být vydávány každých 6 hodin, přičemž v každém okamžiku může být platná pro jedno letiště pouze jediná předpověď TAF. Vydání nové předpovědi je také podmíněno předpokládanou změnou prvků, které obsahuje. Kritéria přízemního větru pro zavedení nové předpovědi TAF jsou uvedena v tab. 4.1.

4.2 Možné hodnoty přízemního větru

Předpis [15] stanoví různá kritéria, podle kterých je vítr zaveden a kódován ve zprávách a výstrahách. Obecně platí následující pravidla:

- ve zprávách musí být uvedeny jednotky rychlosti větru
- jestliže během 10 minut dojde ke změně směru větru o 60° nebo více od průměrného směru, musí být hlášeno kolísání směru větru
 - jestliže je celkové kolísání větru mezi 60° a 180° a rychlost větru je 3 KT nebo vyšší, musí být kolísání větru hlášeno uvedením obou extrémních směrů větru
 - jestliže je celkové kolísání větru mezi 60° a 180° a rychlost větru je menší než 3 KT, musí být vítr hlášen jako proměnlivý, bez průměrného směru
 - jestliže je celkové kolísání větru větší než 180°, musí být vítr hlášen jako proměnlivý, bez průměrného směru
- nárazy větru musí být hlášeny, jestliže během 10 minut dojde ke změně rychlosti větru o:
 - 5 KT, pokud jsou uplatněny postupy pro snižování hluku
 - 10 KT v ostatních případech
- jestliže je rychlost větru menší než 1 KT, musí být vítr indikován jako CALM
- jestliže je rychlost větru 100 KT a více, musí být rychlost větru indikována jako větší než 99 KT

4.3 Kódování větru a stříhu větru ve zprávách a předpovědích

V kódu METAR a SPECI se informace o větru uvádějí na místě 5. a 6. znakové skupiny, a to v následující formě:

dddffGf_mf_m**KT** d_nd_nd_nVd_xd_xd_x

Kde: ddd^a – průměrný směr větru

ff – průměrná rychlost větru

G^b – indikátor nárazu větru

f_mf_m^b – rychlost maximálního nárazu větru

KT^c – jednotky rychlosti větru

d_nd_nd_n^b – první extrémní směr proměnlivého větru

V^b – indikátor oddělující extrémní hodnoty směru proměnlivého větru

d_xd_xd_x^b – druhý extrémní směr proměnlivého větru

^a pokud je to nutné, nahrazuje se zkratkou **VRB** pro proměnlivý vítr (viz kap. 4.2)

^b uvádí se, pouze pokud je to nutné (viz kap. 4.2)

^c místo **KT** (uzly) mohou být uvedeny i **MPS** (metry za sekundu) nebo **KMH** (kilometry za hodinu)

V kódu METAR a SPECI je také obsažena zpráva o stříhu větru a to na místě 15. znakové skupiny. Její forma je následující:

WS RWYD_RD_RP nebo **WS ALL RWY**

Kde: **WS RWY** – zpráva o význačném stříhu větru podél dráhy

D_RD_RP^a – označení dráhy (např. 28R)

WS ALL RWY – zpráva o význačném stříhu větru podél všech drah

^a místo P v kódu může nabývat pouze hodnot L, C, R pro levou, střední a pravou paralelní dráhu a nemusí být vyplněno, pokud je dráha označena pouze dvěma znaky (číslly)

Tato informace o stříhu větru se udává vždy, když je k dispozici informace o existenci stříhu větru v pásu dráhy (nebo drah) od její úrovně do výšky 1600 ft nad ní. Mohou se použít i obě skupiny zároveň. Při uvedení, pro jakou dráhu výstraha platí, se obvykle dále poskytuje informace o dráhové dohlednosti (RVR).

V předpovědi TREND se uvádí rychlost a směr větru na místě 3. znakové skupiny stejným způsobem, jako u zpráv METAR a SPECI, kde se jedná o 5. znakovou skupinu. Neuvádí se extrémní hodnoty směru větru.

V předpovědi TAF se stejně jako u předpovědi TREND udává rychlost, směr a případně i nárazy větru stejným způsobem.

Informace o přízemním větru jsou uvedeny také ve vysílání zprávy ATIS, což je podle [16] automatická informační služba koncové řízené oblasti, anglicky automatic terminal information service. Jedná se o nepřetržité a opakující se hlasové vysílání důležitých informací přilétávajícím a odlétávajícím letadlům určitého letiště v anglickém jazyce.

Změna meteorologického prvku	Limits pro		
	SPECI	TAF	TREND
Směr průměrného přízemního větru (změna)	$\alpha \geq 60^\circ$ při ≥ 10 KT vzhledem k poslední zprávě	$\alpha \geq 30^\circ$ při ≥ 20 KT před a/nebo po změně	$\alpha \geq 60^\circ$ při ≥ 10 KT
Rychlost průměrného přízemního větru (změna)	$\alpha \geq 10$ KT vzhledem k poslední zprávě	$\alpha \geq 10$ KT při ≥ 30 KT před a/nebo po změně	$\alpha \geq 10$ KT
Nárazy přízemního větru (zvýšení)	$\alpha \geq 10$ KT při průměru ≥ 15 KT před a/nebo po změně	$\alpha \geq 10$ KT při ≥ 15 KT	---

Tab. 4.1 Kritéria pro změny nebo zavedení meteorologických leteckých zpráv a předpovědí [8] a [15]

5 AWOS – AUTOMATIZOVANÝ LETIŠTNÍ POZOROVACÍ SYSTÉM

V průběhu druhé poloviny minulého století se objevily dvě skutečnosti, které vedly k návrhu, zpracování a realizaci programů, které nakonec dospěly až v dnešní systémy AWOS. První z nich byla skutečnost, že civilní letecká doprava zaznamenávala prudký růst. Jak hustoty leteckého provozu, tak technologického pokroku nových, rychlejších a výše létajících letadel. S tím se postupně zvyšovaly i nároky na letiště a jejich infrastruktury. Z meteorologického hlediska bylo nutné zajistit taková pozorování a měření, která by spolehlivě a efektivně zajistila plynulost a bezpečnost narůstajícího leteckého provozu s co možná nejmenším počtem chyb. Druhou skutečností byl technický pokrok a rozvoj digitálních technologií, které podstatnou mírou přispěly k rozvoji plně automatizovaných měřících a v pozdější době i předpovědních a varovných systémů.

Současné systémy AWOS, anglicky automated weather observing system, procházejí neustálým vývojem a procesem zdokonalování a nabízejí mnoho pokročilých funkcí. Proto se od prvních systémů AWOS určených pro letiště, které byly uvedeny do provozu v 80. letech 20. století, podstatně liší.

Tyto systémy automatického sledování počasí mají široké uplatnění v nejrozličnějších průmyslových, dopravních a technických oborech. Tato práce se zabývá verzí systému AWOS určenou pro letiště. Jejich české názvy se liší. Nejčastěji se ovšem objevují názvy automatizovaný meteorologický systém pro měření, zpracování, zobrazení a distribuci meteorologických informací pro potřeby letových provozních služeb a automatizovaný letištní pozorovací systém.

5.1 Struktura

Dnešní letecké systémy AWOS jsou vyráběny několika výrobci, jejichž zpracování se v některých oblastech liší. Obecně je však struktura těchto systémů podle [7] následovná:

- letištní senzory
- centrální datové jednotky
- pracovní stanice a komunikační rozhraní

Letištní senzory jsou zařízení umístěná na vhodných místech k měření požadovaných fyzikálních veličin (napětí, proudy, odpory ad.), z nichž jsou odvozeny nebo vypočteny potřebné meteorologické informace. Při umísťování těchto zařízení je třeba postupovat podle platných předpisů. Systém AWOS MIDAS IV firmy Vaisala uvedený v [21], může pracovat se senzory zajišťujícími měření těchto veličin:

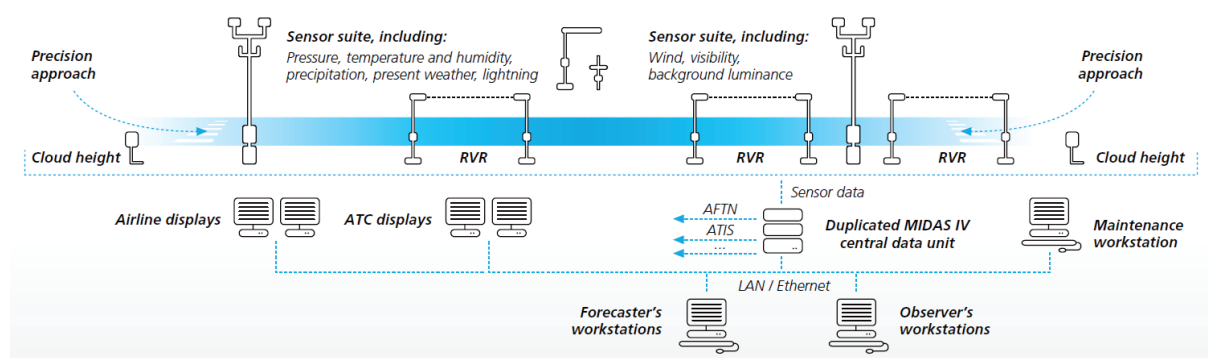
- Rychlost a směr větru
- Tlak vzduchu (QFE, QNH, QFF)
- Teplota vzduchu
- Vlhkost vzduchu (teplota rosného bodu)
- Meteorologická dohlednost
- Dráhová dohlednost (RVR)
- Množství srážek
- Současné počasí
- Výška oblaků

- Sluneční záření

Centrální datová jednotka slouží ke sběru dat naměřených senzory a jejich zpracování, především průměrování a určování maximálních a minimálních hodnot dat v období za 1 až 10 minut (podle druhu měření). Také slouží k převedení dat do vytvořených zpráv standardizovaného formátu (například METAR). Tato jednotka může také zajišťovat například vysílání služby ATIS. Pracovníci LMS musí být schopni do automaticky generovaných zpráv manuálně vkládat data, která jsou pro danou interpretaci potřebná. Například stav současného nebo minulého počasí, dohlednost, druh oblaků atd., které systém zatím neumí zjišťovat a určovat automaticky.

Komunikační rozhraní slouží k přenosu informací do pracovních stanic, v nichž jsou informace poskytnuty v grafické nebo numerické podobě, případně zpracovány do dalších komplexnějších podob, například grafů, větrných růžic atp. Pracovních stanic bývá více. Například stanice pro zobrazení potřebných dat briefingu pilotů a jejich firemního zázemí, displejů ATCo a stanic LMS pro pozorování a pro předpovědi.

Grafické znázornění systému AWOS je na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Systém MIDAS IV finské firmy Vaisala [21]

5.2 Účel, výhody a nevýhody systému AWOS v letectví

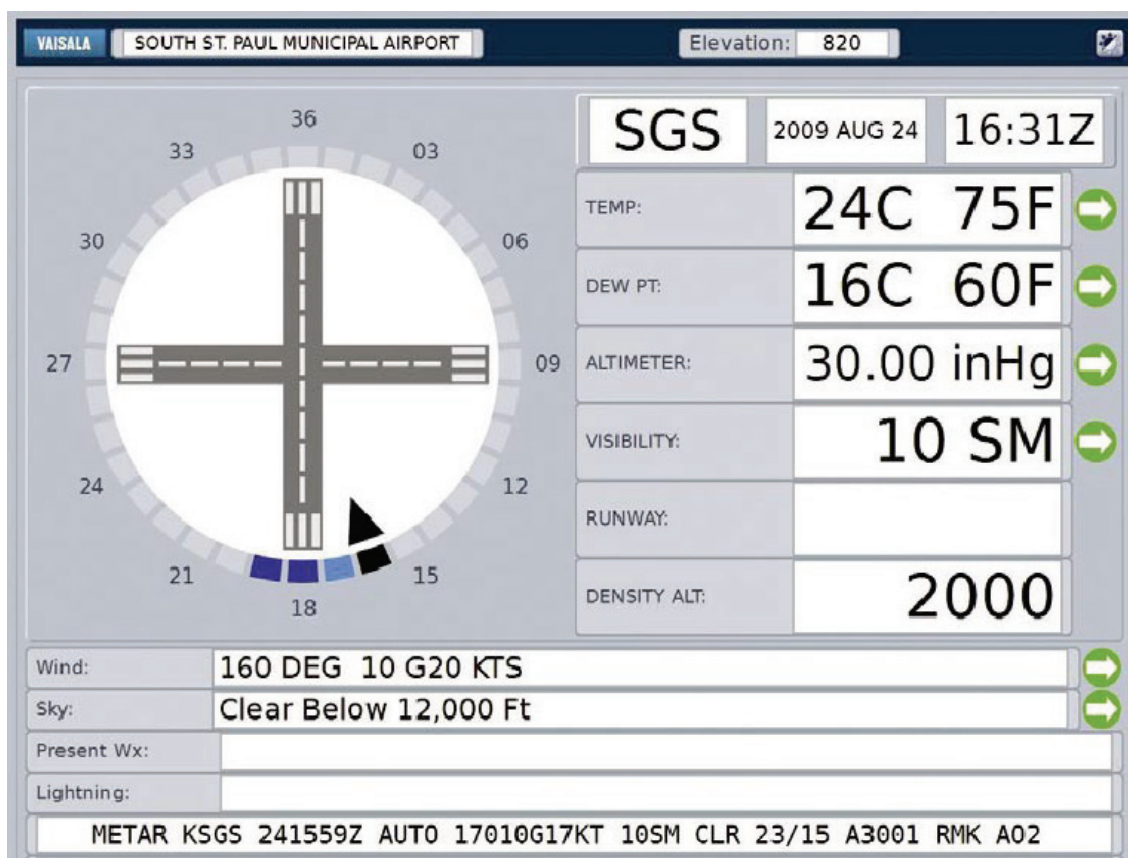
Hlavním důvodem zavedení systému AWOS jsou tyto výhody [5]:

- automatizovaný proces zvyšující spolehlivost, přesnost a počet dostupných měření
- potřebné údaje se měří automaticky v určených pravidelných intervalech nebo na pokyn obsluhy, bez prodlevy, bez nutnosti přítomnosti člověka přímo na měřicím stanovišti a jeho možných chyb a selhání
- měření probíhá za použití moderních a spolehlivých digitálních technologií
- z důvodu potřeby menšího počtu pozorovatelů dochází i ke snížení provozních nákladů
- data se automaticky ukládají a je možné je kdykoliv zpětně prohlížet
- měření je objektivní
- automatické vytváření a přenos meteorologických zpráv
- poskytování dat i dalším organizacím
- jednotný systém řízení pro širokou škálu různých senzorů a jejich nastavení

Mezi nevýhody patří zejména [5]:

- omezený prostor měření
- neschopnost provádět některá měření (například stupeň pokrytí oblohy oblačností a určení druhu oblaků)
- nutnost přesné a pravidelné údržby, testů a kalibrací
- nutnost vysoce kvalifikovaných pracovníků, techniků a personálu
- vysoké pořizovací náklady

Automatizovaný a digitální měřicí proces umožňuje vysokou variabilitu způsobů zobrazení a interpretace naměřených dat. To obstarává speciálně vyvinutý software dodávaný výrobcem systému. Ukázka možného zobrazení je na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Vaisala Observation Display [22]

5.3 Měření větru a stříhu větru v systému AWOS

Systém AWOS může k měření větru využívat kombinaci větrné směřovky a miskového anemometru (obr. 2.6 a obr. 2.5) anebo může využívat ultrasonického anemometru (obr. 2.9).

Princip měření těchto přístrojů je uveden v kapitolách 2.2 a 2.3.

Současné systémy AWOS mohou být vybaveny i měřícím a varovným systémem proti stříhu větru. Toho je dosaženo pomocí větší soustavy anemometrů v prostoru přiblížení a vzletu letadla v případě potřeby doplněné o WPR, které měří použitím radaru směr a rychlost větru v různých výškách nad zemí. Meteorolog s ATCo na letišti mohou v případě aktivace varovného systému předat hlášení o možném výskytu stříhu větru pomocí radiokomunikace pilotům, kteří se připraví na nutný zásah, popřípadě může ATCo nařídit opakování přiblížení.

Jednoduchý popis WPR je uveden v kapitole 2.4.

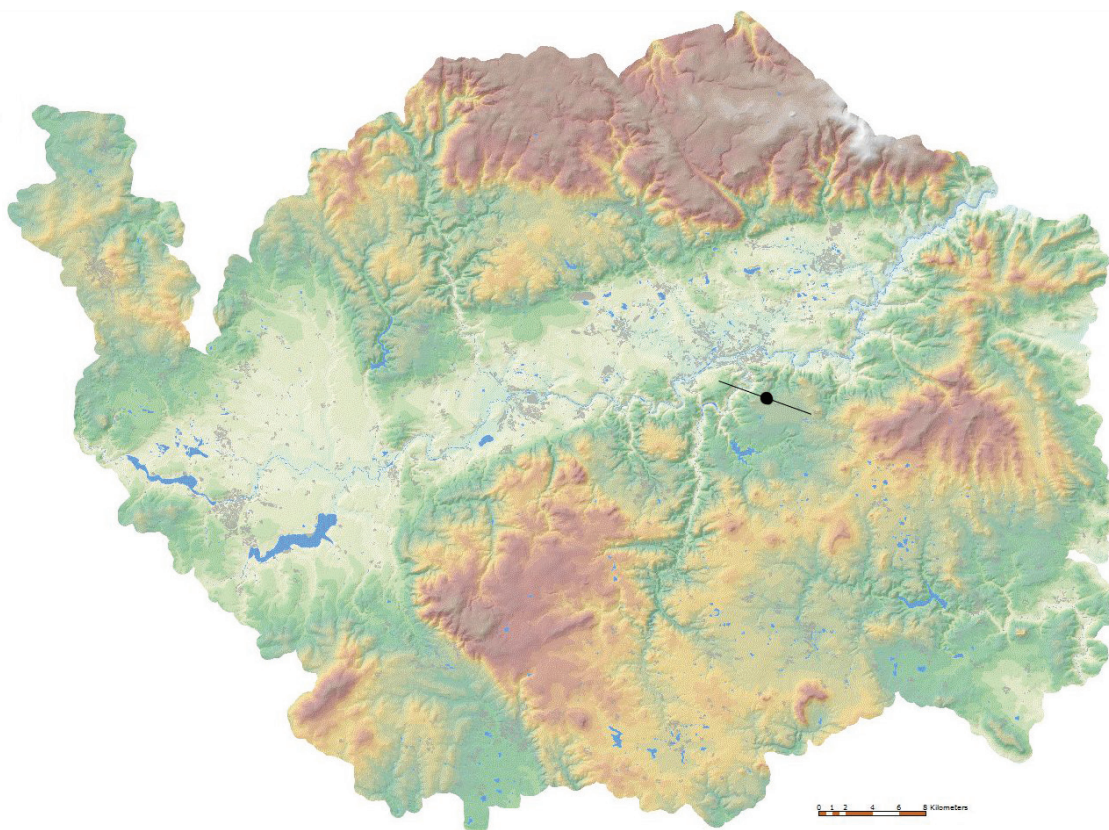
5.4 Systémy AWOS v ČR

V České republice jsou systémem AWOS vybavena čtyři letiště. Od roku 2001 je letiště Praha-Ruzyně vybaveno systémem AWOS MIDAS IV (obr. 5.1) finské firmy Vaisala. Tento systém je neustále vylepšován, doplňován a modernizován (v roce 2011 byl nainstalován ultrasonický anemometr Vaisala WMT700 (obr. 2.9)). V roce 2011 byly do provozu uvedeny rovněž systémy finské firmy Vaisala na letištích v Brně-Tuřanech, Ostravě-Mošnově a Karlových Varech. Na těchto letištích se jedná o nejnovější systémy AWOS Vaisala AviMet, ovšem ne všechny jsou stejné.

6 VYHODNOCENÍ VĚTRU NA LETIŠTI KARLOVY VARY

6.1 Charakteristika letiště

Letiště Karlovy Vary, ICAO kódem LKKV, leží 4,5 km jihovýchodně od města Karlovy Vary ve výšce 606 m (1989 ft) nad mořem. Vztažná teplota letiště je 21,9 °C. Jedná se o veřejné mezinárodní letiště, na kterém je meteorologická služebna v provozu 24 hodin denně. Letiště má 2 dráhy. Dráhu 11/29, která je 2150 m dlouhá a 30 m široká s asfalto-betonovým povrchem a travnatou dráhu 12/30 dlouhou 1000 m a širokou 30 m. Dráha 29 je vybavena ILS CAT I. Na obr. 6.1 je orografická mapa Karlovarského kraje s vyznačenou polohou LKKV a osou zpevněné dráhy.



Obr. 6.1 Orografická mapa Karlovarského kraje [www.kr-karlovarsky.cz/GIS]

Na obr. 6.1 je jasně vidět na západě otevřené údolí řeky Ohře, na severu ohraničené ostrou hranou Krušných hor a na jihu západně od Karlových Varů pohořím Slavkovský les, východně od Karlových Varů Doupovskými horami, které údolí významně narušují na jeho východní straně. Letiště leží na vyvýšenině mezi těmito dvěma útvary blízko údolí. Dá se tedy předpokládat, že převažující směry větru budou velmi blízké směru osy tohoto údolí. Bude se tedy zřejmě jednat o převážně západní nebo východní vítr.

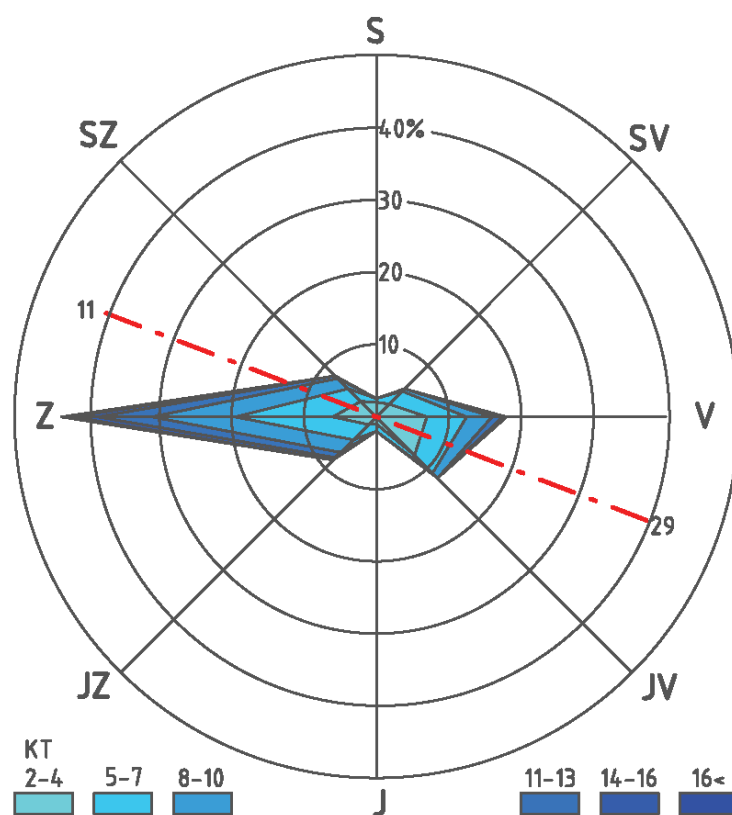
V příloze 6 je ADC LKKV s vyznačeným umístěním anemometrů na letišti. Anemometry obstarávají data o přízemním větru pro zpevněnou dráhu 11/29 pro oba používané směry. Jedná se o miskové anemometry. Anemometr umístěný v dotykové zóně dráhy 29 svým původním umístěním nesplňoval předepsanou výšku měření 10 m nad dráhou, jelikož byl umístěn pouze 80 m od osy dráhy a z důvodu překážkových rovin nemohl být vyšší. Proto došlo na konci roku 2010 k jeho přemístění do aktuální pozice vyhovující předpisu L-3 i předpisu L-14 [9].

6.2 Směr a rychlost větru – statistické zpracování

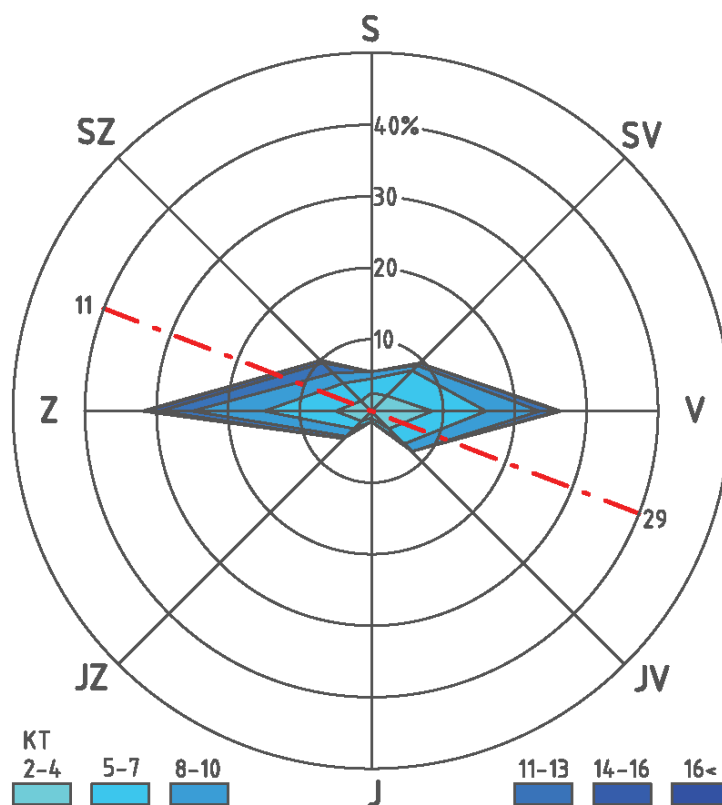
Ke zpracování směru a rychlosti větru na LKKV byly použity tamní zprávy METAR a SPECI za pětileté období 2007 až 2011. Tato data za účelem bakalářské práce poskytl ČHMÚ v Praze. Charakteristiky průměrné rychlosti a směru větru se měří v pozorovacích termínech 7, 14 a 21 hodin UTC, tedy v 8, 15 a 22 hodin SEČ, a většinou bývají rozděleny podle ročních období. Podle tohoto vzoru byly vypracovány strukturované větrné růžice, které mimo četnosti směru větru v základních 8 směrech zobrazují i intervalové rozdělení četnosti rychlosti větru v každém směru. Při zpracování směru větru bylo vzhledem k obtížnému převedení směru větru z 36 na 8 hlavních směrů použito toto pravidlo: u směrů S, V, J, Z byly počítány četnosti z 5 směrů 36 členné větrné růžice, u mezisměrů SV, JV, JZ, SZ ze 4 směrů 36 členné větrné růžice. Například směr V zahrnuje směry 070, 080, 090, 100, 110 a směr JV zahrnuje směry 120, 130, 140, 150. Rychlost větru v těchto směrech byla rozdělena pro účely strukturovaných větrných růžic na intervaly 2-4, 5-7, 8-10, 11-13, 14-16 KT. Tyto větrné růžice jsou na obr. 6.2, obr. 6.3, obr. 6.4, obr. 6.5 a je v nich vyobrazena osa zpevněné dráhy 11/29.

Dále byly sestaveny větrné růžice podle ročních období tak, že v každé růžici jsou zaneseny zvlášť informace o četnostech směru větru z jednotlivých pozorovacích termínů. Tyto růžice tedy představují denní chod četností směrů větru. Jedná se o obr. 6.6, obr. 6.7, obr. 6.8 a obr. 6.9. Opět je vyobrazena i osa zpevněné dráhy.

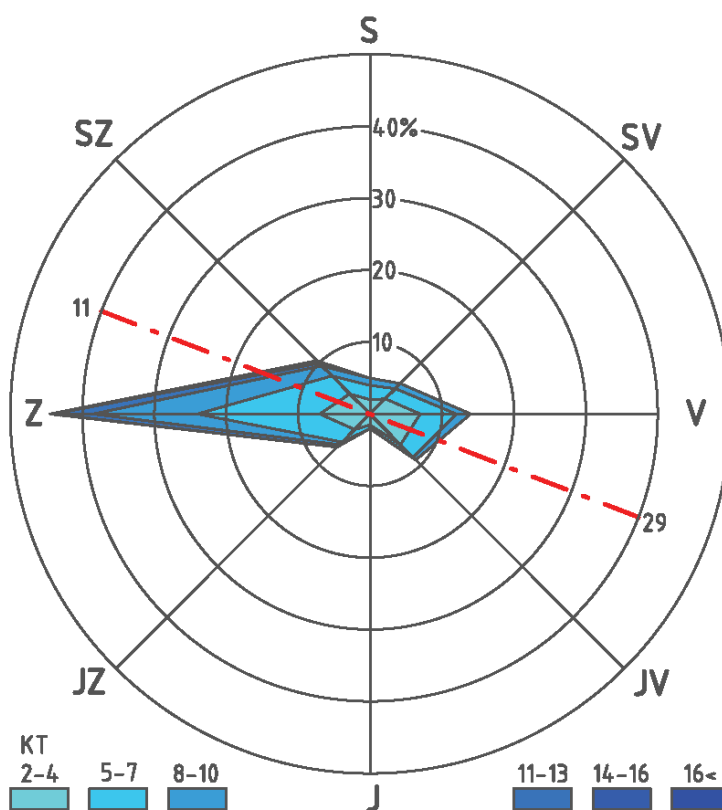
Průměrná rychlost větru byla také určena pro každé roční období z uvedených pozorovacích termínů. Také bylo určeno procento dnů s bezvětřím. Jedná se o obr. 6.10.



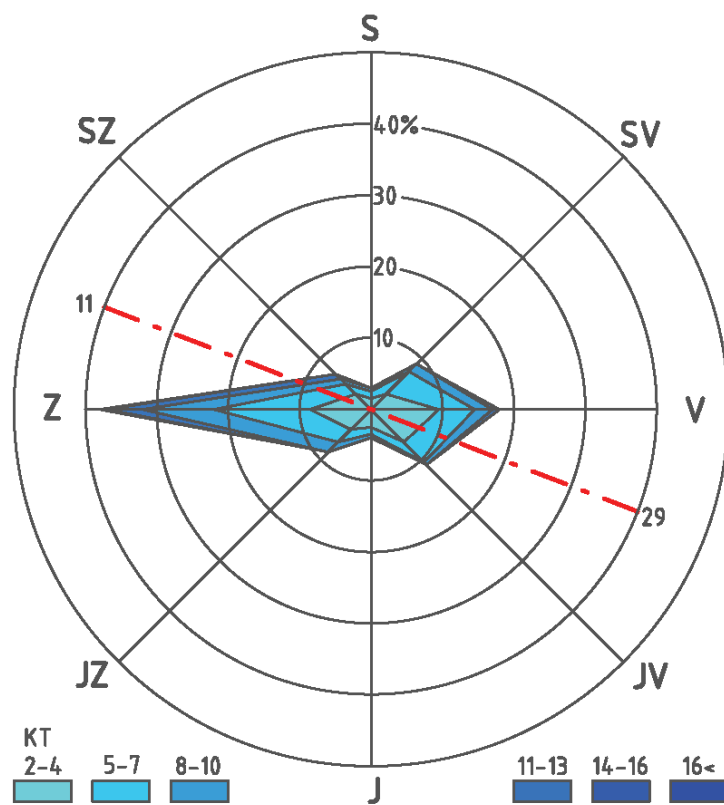
Obr. 6.2 Zimní větrná růžice četnosti směru větru na LKKV



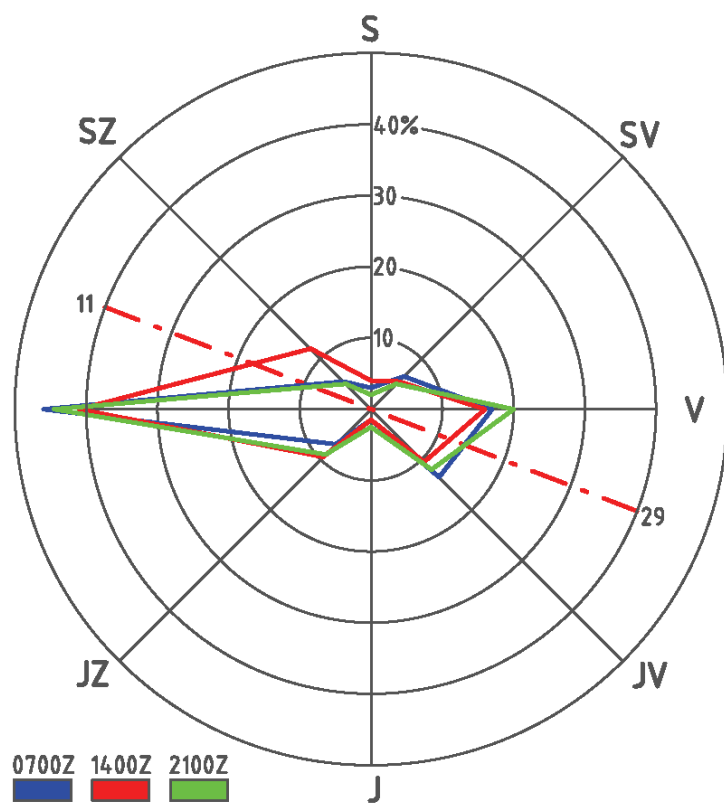
Obr. 6.3 Jarní větrná růžice četnosti směru větru na LKKV



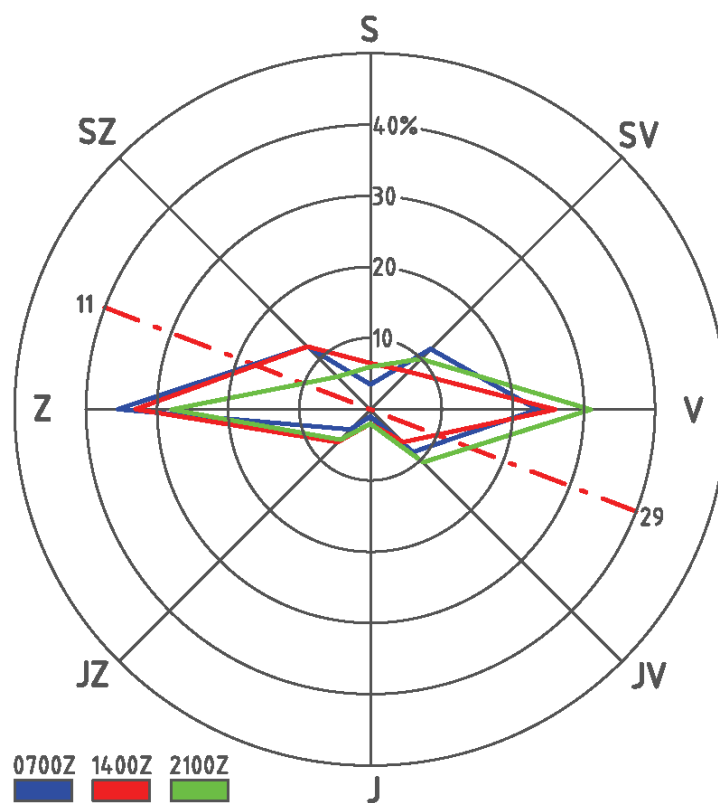
Obr. 6.4 Letní větrná růžice četnosti směru větru na LKKV



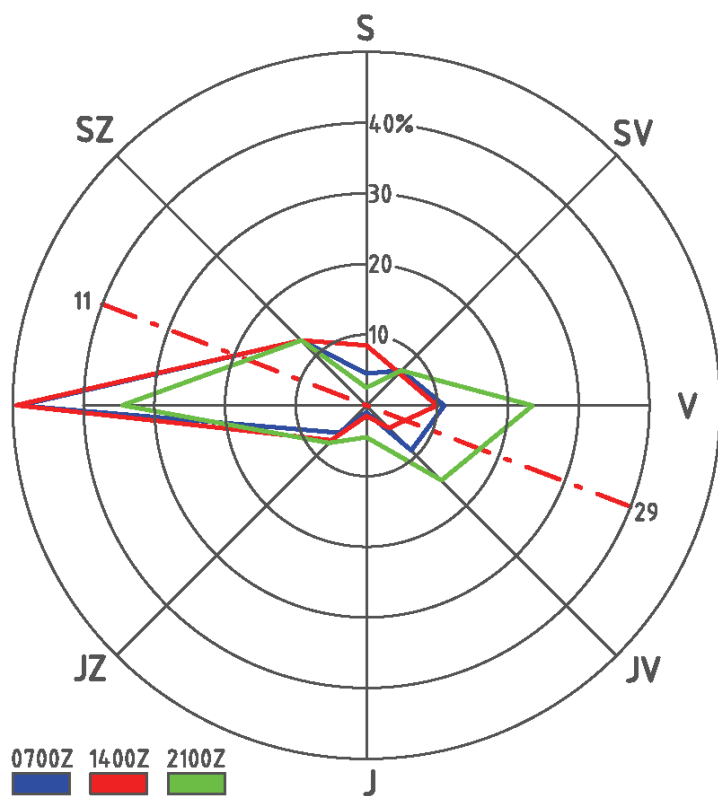
Obr. 6.5 Podzimní větrná růžice četnosti směru větru na LKKV



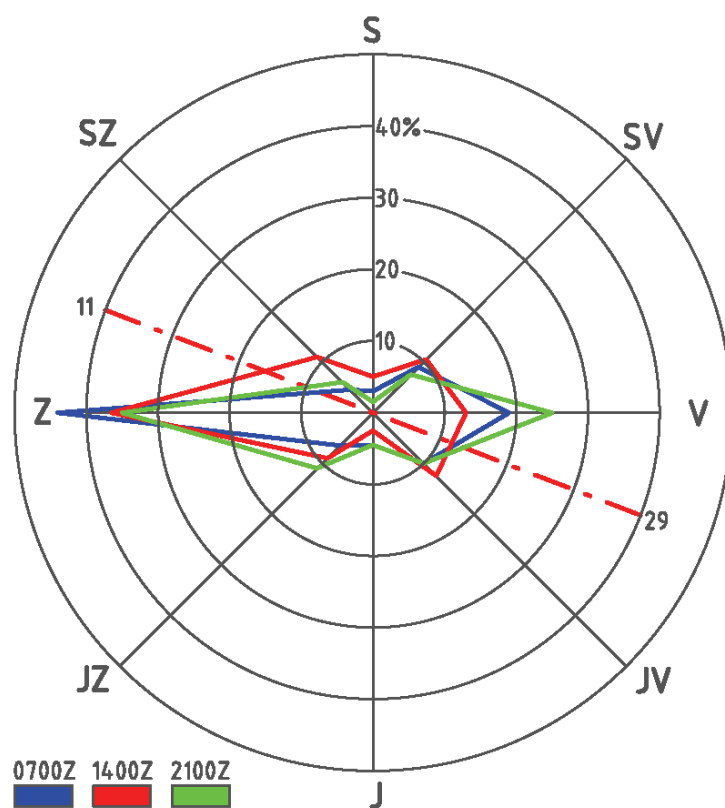
Obr. 6.6 Denní chod směru větru na LKKV v zimě



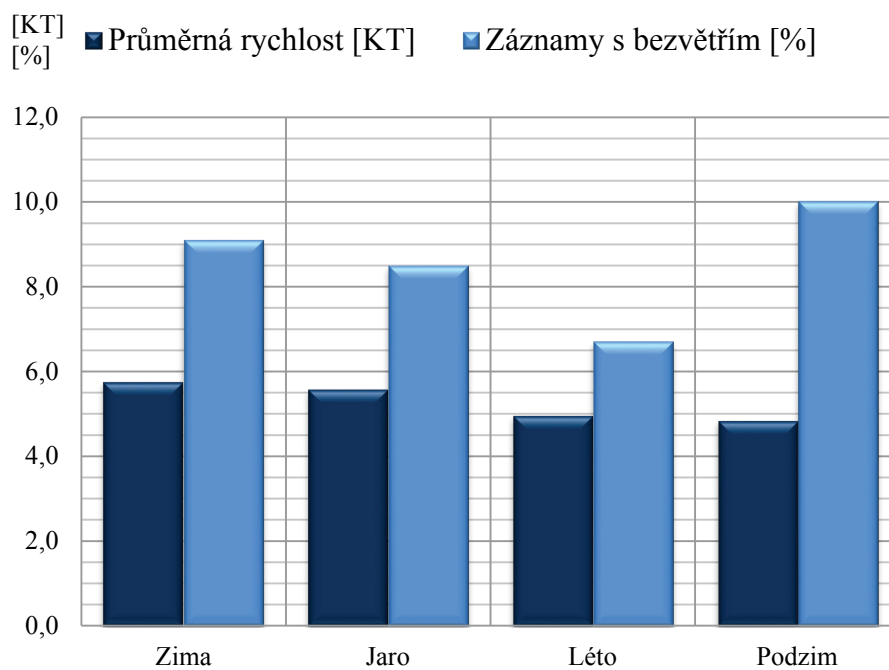
Obr. 6.7 Denní chod směru větru na LKKV na jaře



Obr. 6.8 Denní chod směru větru na LKKV v létě



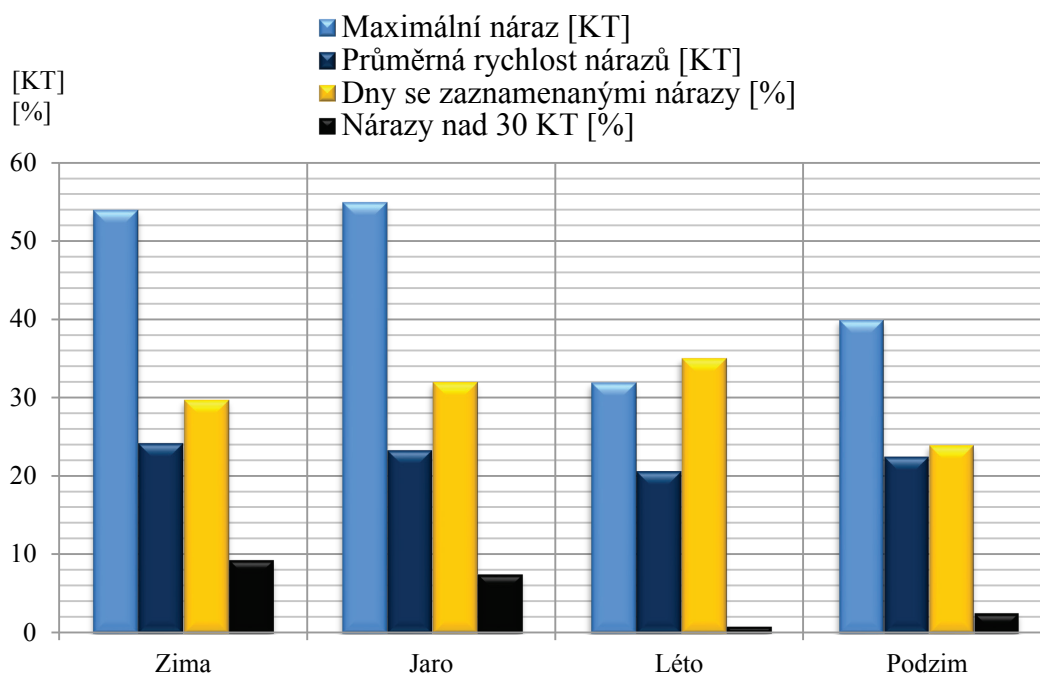
Obr. 6.9 Denní chod směru větru na LKKV na podzim



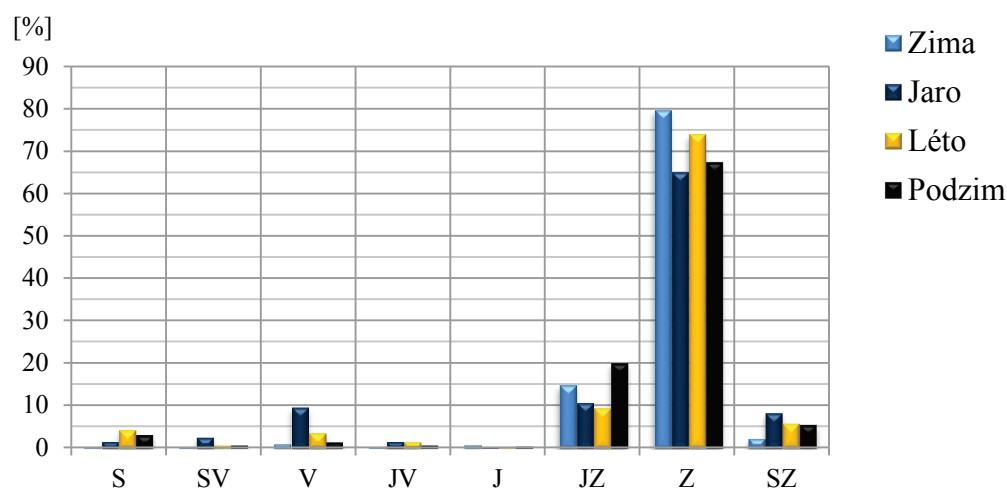
Obr. 6.10 Graf průměrné rychlosti větru v ročních obdobích

Z uvedených větrných růžic vyplývá, že jasně převládající vítr ve všech ročních obdobích je západní, pouze na jaře se hranici četnosti 30% přibližuje vítr východní. Jedná se tedy o vítr blízky ose údolí, u kterého je LKKV situováno, jak je vidět na obr. 6.1. Rychlost větru je rovnoměrně rozdělena do určených intervalů, přičemž vítr nad 14 KT se již vyskytuje jen velmi zřídka. Denní chod větru má směrově jen velmi nepatrné odchylky, pouze v létě je patrná větší četnost večerního větru ve východním směru. Z grafu průměrných rychlostí větru vyplývá, že nejrychleji vane vítr v zimě a postupně se průměrná rychlost snižuje až k podzimu, ovšem rozdíly jsou jen malé.

Rozbor nárazů větru byl proveden ze všech dostupných zpráv zahrnujících všechny časy vydání zpráv METAR, případně SPECI. Obr. 6.11 zobrazuje průměrnou rychlost nárazů, maximální zaznamenaný náraz větru a procento dní s nárazy za jednotlivá roční období. Obr. 6.12 zobrazuje četnost směru větru při zaznamenaných nárazech za jednotlivá roční období.



Obr. 6.11 Průměrná rychlost nárazů, maximální zaznamenaný náraz a procento dní s nárazy větru



Obr. 6.12 Četnost směru větru při nárazech

Z výše uvedených grafů vyplývá, procento dní se zaznamenanými nárazy větru se pohybují od 24% do 35%, kterých je dosaženo v létě. Průměrná rychlost nárazů je velmi stabilním prvkem a pohybuje se okolo 22 KT. Z grafů lze také usoudit, že nejsilnějších nárazů bylo dosaženo v zimě a na jaře, avšak vítr s nárazy nad 30 KT jinak netvoří ani 10% záznamů.

6.3 Kategorie letadel vzhledem k bočnímu větru na LKKV

Letouny se dělí do několika kategorií. Zde bude použito jejich rozdělení podle maximální vzletové hmotnosti (MTOW), které se používá pro rozdělení letounů vzhledem k turbulenci v úplavu. Takto se rozdělují na kategorie podle tab. 6.1.

	LIGHT	MEDIUM	HEAVY
MTOW	<7000 kg	7000 kg - 136 000 kg	>136 000 kg

Tab. 6.1 Rozdělení letadel podle MTOW [24]

Vzhledem k délce a šířce dráhy a únosnosti podloží na LKKV patří mezi největší letouny, které může letiště přijmout, například Airbus A321 nebo Boeing 757. Tyto letouny patří do kategorie MEDIUM. Letiště však také obsluhuje velkou část letounů kategorie LIGHT. Pro posouzení vlivu bočního větru na provoz LKKV byly vybrány letouny uvedené v tab. 6.2, kde je u každého typu určena maximální přípustná složka bočního větru podle letové příručky (je brána nejnižší omezující hodnota).

Kategorie	Typ	Maximální složka bočního větru [KT]
LIGHT	Zlin Z-42	20
	Zlin Z-43	24
	Cessna C-172	12
	Cessna C-182	15
	Piper Meridian	17
	Pilatus PC-12	25
MEDIUM	Cessna Citation 680 Sovereign	25
	B737-800W	34
	A320	38

Tab. 6.2 Maximální povolené nebo demonstrováné složky větru některých letadel

Z uvedené tabulky vyplývá, že MTOW není jednoznačným ukazatelem zvýšení nebo snížení maximální přípustné boční složky větru, avšak je možné sledovat určitý nárůst této hodnoty se zvyšující se MTOW.

Také je nutné dodat, že u některých letadel není maximální přípustná boční složka větru udaná v letové příručce jako omezení, ale je udána maximální demonstrováná boční složka větru při letových zkouškách. Nejedná se tedy o omezení, ale o upozornění. Vzlet a přistání s výraznou boční složkou větru je náročné na techniku a přesnost pilotáže, a pilot by měl tedy důkladně zvážit své schopnosti i schopnosti svého letounu. Některé letouny mají navíc omezenou i maximální přípustnou zádovou složku větru, kterou je nutné dodržet i v případě, že je RWY dostatečně dlouhá.

Podle výše uvedených tabulek větrných růžic je možné konstatovat, že boční vítr nepředstavuje významné omezení provozu na LKKV, ať už se jedná o jakoukoliv kategorii letadel. Pouze letouny s nejnižšími hodnotami maximálních přípustných složek větru mohou být někdy omezeny. Ovšem průměrná složka bočního větru na LKKV činní ve všech ročních obdobích 2 KT a procento pozorování s touto složkou větší než 10 KT netvoří ani 1% případů.

ZÁVĚR

Od roku 1667, kdy Robert Hook jako první konstruktér sestavil anemometr, uplynulo již několik staletí. Přestože technologie od té doby zaznamenaly enormní pokrok, princip miskových, případně lopatkových, anemometrů zůstává velmi podobný dodnes. Snímací technologie těchto anemometrů jsou však již upraveny pro použití současných elektronických možností, které jsou velice výhodné pro použití nejen v letectví. Ultrasonické anemometry jsou již vyspělejší a technologicky mnohem složitější zařízení. Jejich výhody jsou nesporné, ovšem za cenu vyšších nákladů a odbornější údržby. V letectví je jejich hlavní výhodou vysoká citlivost na velice rychlé krátkodobé fluktuace rychlosti i směru větru, tedy nárazy, které již byly v letectví příčinou mnoha nehod. I přes tento technologický pokrok se stále povinně používají větrné rukávy, tedy ukazatele směru větru, které i přesto, že se v jejich případě jedná spíše o odhadování než měření směru, omezeně i rychlosti větru, podávají pilotům na celém světě nejaktuálnější a nejvěrohodnější informace o veličině, která zásadně ovlivňuje vzlet a přistání letadel. Z tohoto důvodu je přízemní vítr udáván i v meteorologických leteckých zprávách a předpovědích, ať už pravidelných nebo mimořádných.

Systémy AWOS jsou nejpokročilejším a nejkomplexnějším řešením především pro současná velká až obrovská letiště, kde již není možné obsluhovat všechny důležité přístroje na tak rozsáhlé ploše bez zaručení odpovídající úrovně bezpečnosti a spolehlivosti. Certifikace těchto přístrojů umožnila jejich vstup i do ČR, kde jsou jím v současnosti vybavena čtyři hlavní letiště v Praze, Brně, Ostravě a Karlových Varech. Systémy dodala finská firma Vaisala, od které pochází většina dnešních meteorologických přístrojů na českých letištích.

Rozbor větru na letišti Karlovy Vary za období 2007-2011 ukázal, že se letiště vyznačuje neobyčejně stabilními větrnými poměry. Ustálenost větru spočívá v závětrné poloze letiště ve sníženině pod Krušnými horami. Růžice větru ze všech ročních období se od sebe liší jen nepatrně, po celý rok je výrazně dominantní západní směr. Druhý nejčtenější směr je východní, který je výrazně zastoupen v jarním období. K výrazným změnám směru větru nedochází ani během dne. Průměrná rychlost větru i nárazů větru je na letišti přes celý rok také velmi stálá, přičemž nárazy větru se nejčastěji vyskytují v západním větru, a to průměrně v třetině dní každého ročního období a jen málokdy překračují 30 KT. Vítr je limitujícím faktorem na tomto letišti tedy pouze pro letouny velmi omezené maximálními složkami větru, jinak vítr téměř nepředstavuje omezení letového provozu. Využitelnost letiště s ohledem na vítr je tedy dobrá.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam (anglicky)
ADC	letištní mapa (aerodrome chart)
AFTN	letecká pevná telekomunikační síť (aeronautical fixed telecommunication network)
AIP	letecká informační příručka (aeronautical information publication)
ATCo	řídící letového provozu (air traffic controller)
ATIS	automatická informační služba koncové řízené oblasti (automatic terminal information service)
ATS	služba řízení letového provozu (air traffic service)
AWOS	automatizovaný letištní pozorovací systém (automated weather observing system)
C	Coriolisova síla (Coriolis force)
CALM	bezvětrí
CAT I	kategorie přesného přiblížení I (instrument approach category I)
ČHMU	Český hydrometeorologický ústav (Czech hydrometeorological institute)
D	úhel snosu (drift angle)
G	horizontální tlakový gradient (horizontal pressure gradient)
GS	traťová rychlost (ground speed)
HDG	kurs (heading)
ICAO	Mezinárodní organizace civilního letectví (International civil aviation organisation)
ILS	systém pro přesné přiblížení a přistání (instrument landing system)
J	jih (south)
KMH	kilometry za hodinu (kilometers per hour)
KT	uzel (knot) ($0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ kt} = 1,852 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)
LKKV	ICAO kód letiště Karlovy Vary (Karlovy Vary airport ICAO code)
LLWAS	systém varování před nízkohladinovým stříhem větru (low level windshear alert system)
LMS	letecká meteorologická služba (aviation meteorological service)
METAR	pravidelná letištní zpráva (aerodrome routine meteorological report)
MPS	metry za sekundu (meters per second)
MTOW	maximální vzletová hmotnost (maximum take-off weight)
O	odstředivá síla (centrifugal force)
QFE	atmosférický tlak vztažený k výšce letiště nad mořem (nebo prahu dráhy) (atmospheric pressure at aerodrome elevation (or at runway threshold))
QFF	tlak na střední hladině moře (mean sea level pressure)

QNH	atmosférický tlak redukováný na střední hladinu moře podle podmínek standardní atmosféry, používaný pro nastavení tlakové stupnice výškoměru k zobrazení nadmořské výšky (altimeter sub-scale setting to obtain elevation when on the ground)
RVR	dráhová dohlednost (runway visual range)
RWY	dráha (runway)
S	sever (north)
SEČ	středoevropský čas (central European time)
SODAR	akustický lokátor (sonic detection and ranging)
SPECI	zvláštní letištní zpráva (aerodrome special meteorological report)
TAF	letištní předpověď (aerodrome forecast)
TAS	pravá vzdušná rychlost (true air speed)
TK	trať (track)
TREND	předpověď trend (trend forecast)
UTC	světový koordinovaný čas (universal time coordinated)
V	východ (east)
VRB	proměnlivý (variable)
W	Rychlost větru (wind speed)
WD	směr větru (wind direction)
WDI	ukazatel směru větru (wind direction indicator)
WPR	radar k profilaci větru (wind profiler radar)
WS	střih větru (windshear)
Z	západ (west)

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AIP ČR. 2012. AD2 Letiště (IFR), ADC Karlovy Vary. Praha: Řízení letového provozu ČR. 1 s.
- [2] BAUMANN-STANZER, K., 2003. The UHF wind profiler at Vienna Airport – data quality control and comparisons to rawinsonde data. *Meteorology and Atmospheric Physics*, roč. 56, č. 1-3, s. 165-174. ISSN 1436-5065
- [3] BÜYÜKBAS, E., YALCIN, L., DAG, Z. T., KARATAS, S., 2006. Training Material on Automated Weather Observing System. Instruments and Observing Methods Report No. 87. Ženeva: World Meteorological Organisation. 284 s.
- [4] DIBBERN, J., ENGELBART, D., GOERSDORF, U., LATHAM, N., LEHMANN, V., NASH, J., OAKLEY, T., RICHNER, H., STEINHAGEN, H., 2003. Operational Aspects of Wind Profiler Radars. Instruments and Observing Methods Report No. 79. Ženeva: World Meteorological Organisation. 99 s.
- [5] DOMBROWSKY, R., 2008. Use and Implementation of the Automatic Weather Observing System (AWOS) in All Climate Weather and Conditions. In: Commission for Instruments and Methods of Observation, Los Angeles: World Meteorological Organisation.
- [6] DVOŘÁK, P., 2010. Letecká meteorologie. Učebnice meteorologie pro piloty kvalifikace UL, GLD, PPL, CPL, ATPL a všechny ostatní, kteří potřebují odborné znalosti letecké meteorologie. 2. vyd. Cheb: Svět křídel. 481 s. ISBN 978-80-86808-85-7
- [7] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. 2008. 7. vyd. Ženeva: World Meteorological Organisation. 681 s. ISBN 978-92-63-100085
- [8] HOLUB, J., 2007. Meteorologické kódy 2. část (letecké). 1. vyd. Brno: Vydavatelská skupina UO. 103 s. ISBN 978-80-7231-299-3
- [9] HOSTÝNEK, J., TECHLOVSKÝ, B., 2009. Problém s přemístěním anemometru na letišti Karlovy Vary (LKKV). *Meteorologické Zprávy*, roč. 62, č. 2, s. 47-50. ISSN 0026-1173
- [10] KRAČMÁR, J. – KRŠKA, K. – SOBOTA, J. – SVATOŠ, V., 2006. Meteorologie (050 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 305 s. ISBN 80-7204-447-8
- [11] Letová příručka Continental. Boeing 737-300,500-900, 2002, Seattle: Boeing. 1982 s.
- [12] Manual on Low-level Wind Shear. ICAO Doc 9817. 2005. 1. vyd. Montreal: ICAO. 213 s. ISBN 92-9194-609-5

- [13] PEDERSEN, B. M., PEDERSEN, T. F., KLUG, H., BORG, N., KELLEY, N., DAHLBERG, J. A., 1999. 11. Wind Speed Measurement and use of Cup Anemometry. Recommended Practises for Wind Turbine Tesing. Glasgow. 60 s.
- [14] Předpis L14. 2011. Letiště. Praha: Ministerstvo dopravy ČR. 251 s.
- [15] Předpis L3. 2010. Meteorologie. Praha: Ministerstvo dopravy ČR. 157 s.
- [16] Předpis L8400. 2011. Zkratky a kódy. Praha: Ministerstvo dopravy ČR. 108 s.
- [17] SOBÍŠEK, B. a kol., 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vyd. Praha: Academia + Ministerstvo životního prostředí ČR. 594 s. ISBN 80-853-6845-5
- [18] TROPEA, C., YARIN, A. L., FOSS, J. F., 2007, Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Atmospheric Measurements. 1. vyd. Berlin: Springer Berlin Heilderberg. 1557 s. ISBN 978-3-540-30299-5
- [19] VAISALA, 2002. User Guide. Anemometr WAA151. Helsinky: Vaisala Oyj. 29 s.
- [20] VAISALA, 2002. User Guide. Wind Vane WAV151. Helsinky: Vaisala Oyj. 30 s.
- [21] VAISALA, 2006. Vaisala MIDAS IV. Automated Weather Observing System. Helsinky: Vaisala Oyj. 6 s.
- [22] VAISALA, 2010. Vaisala AviMet Weather Display. Helsinky: Vaisala Oyj. 2 s.
- [23] VAISALA, 2011. User Guide. Vaisala WINDCAP Ultrasonic Wind Sensor Series WMT700. Helsinky: Vaisala Oyj. 136 s.
- [24] VINAŘ, M., 2006. Provozní postupy (071 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 174 s. ISBN 80-7204-444-3

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 – BEAUFORTOVA STUPNICE SÍLY VĚTRU	A
PŘÍLOHA 2 – ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY MISKOVÉHO ANEMOMETRU VASIALA WAA151	B
PŘÍLOHA 3 – ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY VĚTRNÉ SMĚROVKY VAISALA WAV151	C
PŘÍLOHA 4 - ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY ULTRASONICKÉHO ANEMOMETRU VAISALA WMT700.....	D
PŘÍLOHA 5 – OMEZENÍ SLOŽEK VĚTRU PRO BOEING 737-800 A 737-800W	F
PŘÍLOHA 6 – ADC LKKV S VYZNAČENÝM UMÍSTĚNÍM ANEMOMETRŮ	G

OBSAH CD

BP_Svec.pdf -	bakalářská práce (Adobe Reader)
Wind_roses.dwg -	sestavené větrné růžice a rychlostní trojúhelník (AutoCAD)

PŘÍLOHA 1 – BEAUFORTOVA STUPNICE SÍLY VĚTRU

Stupeň	Vítr	Rychlost		Hladina moře	Výška vln
		Uzly (kt)	km/h		[m]
0	bezvětří	< 1	< 1	zrcadlo	< 0,03
1	vánek	1 - 3	1 – 5	vlnky	~ 0,03
2	větřík	4 - 6	6 – 11	světlejší hřbety vln	~ 0,13
3	slabý vítr	7 - 10	12 – 19	lom vln	0,3 - 0,7
4	mírný vítr	11 - 16	20 – 28	místy bílé hřebeny	0,6 - 1,2
5	čerstvý vítr	17 - 21	29 – 39	nad vlnami vodní tříšť	1,2 - 2,4
6	silný vítr	22 - 27	40 – 49	silná vodní tříšť	2,4 - 4,0
7	mírný víchř	28 - 33	50 – 61	bílá pěna na vlnách	4 - 6
8	čerstvý víchř	34 - 40	62 – 74	bílá pěna na vlnách	4 - 6
9	silný víchř	41 - 47	75 – 88	vysoké rolující vlny	~ 6
10	plný víchř	48 - 55	89 – 102	přepadající hřebenatky	6 - 9
11	vichřice	56 - 62	103 – 114	vlny pokryté pěnou	9 - 14
12 - 17	orkán	> 62	> 117	vlnobití, pěna ve vzduchu	> 14

Stupeň	Vítr	Rychlost		Na souši
		m/s	km/h	
0	bezvětří	< 0,5	< 1	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	~ 1,25	1 – 5	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	~ 3	6 – 11	listí stromů šelestí
3	slabý vítr	~ 5	12 – 19	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	~ 7	20 – 28	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	~ 9,5	29 – 39	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	~ 12	40 – 49	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný víchř	~ 14,5	50 – 61	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý víchř	~ 17,5	62 – 74	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný víchř	~ 21	75 – 88	vítr strhává komíny, tašky a břídlíce se střech
10	plný víchř	~ 24,5	89 – 102	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	vichřice	~ 29	103 – 114	působí rozsáhlá pustošení
12-17	orkán	> 30	> 117	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

Zdroj: www.chmi.cz

PŘÍLOHA 2 – ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY MISKOVÉHO ANEMOMETRU VASIALA WAA151

Property	Description/Value
Sensor/Transducer type	Cup anemometer/Opto-chopper
Measuring range	0.4 ... 75 m/s
Starting threshold	< 0.5 m/s ¹⁾
Distance constant	2.0 m
Transducer output 0 ... 75 m/s Characteristic Transfer Function	0 ... 750 Hz square wave $U_f = 0.1007 \times R + 0.3278$ (U_f = wind speed; R = o/p pulse rate)
Accuracy (within 0.4 ... 60 m/s) With Characteristic Transfer Function With "simple transfer function" $U_f = 0.1 \times R$	± 0.17 m/s ²⁾ ± 0.5 m/s
Transducer output level ($I_{out} < +5$ mA) ($I_{out} > -5$ mA)	High state > $U_{in} - 1.5$ V Low state < 2.0 V
Settling time after power turn-on	< 30 μ s
Operating power supply	9.5 ... 15.5 VDC, 20 mA typical
Heating power supply	20 VDC or VAC, 500 mA typical
Electrical connections	MIL-C-26482 type; 6-wire cable
Recommended connector at cable end	SOURIAU MS3116F10-6P
Operating temperature	-50 ... +55 °C (with shaft heating)
Storage temperature	-60 ... +70 °C
Housing material	AlMgSi, gray anodized
Cup material	PA, reinforced with carbon fiber
Dimensions	240 (h) \times 90 (\varnothing) mm Swept radius of cup wheel: 91 mm
Weight	570 g

1) Measured with cup wheel in position least favored by flow direction.
Optimum position yields < 0.35 m/s starting threshold.

2) Standard Deviation

Zdroj: www.vaisala.com

PŘÍLOHA 3 – ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY VĚTRNÉ SMĚROVKY VAISALA WAV151

Property	Description/Value
Sensor/Transducer type	Vane/Optical code disc
Measuring range	0 ... 360°
Starting threshold	< 0.4 m/s
Resolution	5.6°
Damping Ratio	0.19
Overshoot Ratio	0.55
Delay Distance	0.4 m
Accuracy	Better than $\pm 3^\circ$
Output	6-bit parallel GRAY code
Transducer output level ($I_{out} < +5$ mA) ($I_{out} > -5$ mA)	High state > $U_{in} - 1.5$ V Low state < 1.5 V
Settling time after power turn-on	< 100 μ s
Operating power supply	9.5 ... 15.5 VDC, 20 mA typical
Heating power supply	20 VDC or VAC, 500 mA typical
Electrical connections	MIL-C-26482 type; 10-wire cable
Recommended connector at cable end	SOURIAU MS3116F12-10P
Operating temperature	-50 ... +55 °C (with shaft heating)
Storage temperature	-60 ... +70 °C
Housing material	AlMgSi, gray anodized
Vane material	AlSi 12, anodized
Dimensions	300 (h) \times 90 (\varnothing) mm Swept radius of vane: 172 mm
Weight	660 g

Zdroj: www.vaisala.com

PŘÍLOHA 4 - ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY ULTRASONICKÉHO ANEMOMETRU VAISALA WMT700

Table 28 Wind Speed

Property	Description/Value
Measurement range	
WMT701	0 ... 40 m/s
WMT702	0 ... 65 m/s
WMT703	0 ... 75 m/s
Starting threshold	0.01 m/s
Resolution	0.01 m/s
Response time	250 ms
Available variables	instant, peak, average, maximum, minimum, gust, lull
Accuracy	+/- 0.2 m/s or 3 % of reading, whichever is greater

Table 29 Wind Direction

Property	Description/Value
Measurement range	0 ... 360 °
Starting threshold	0.1 m/s
Resolution	1 °
Accuracy	±2 °
Response time	250 ms
Available variables	instant, average, maximum, minimum

Table 30 Outputs

Property	Description/Value
Digital outputs	
Communication interfaces	COM1: RS-485
Communication protocols	COM2: RS-485, RS-422, RS-232, SDI-12 WMT700, WS425 ASCII, NMEA Standard and Extended (version 0183), SDI-12 (version 1.3), WS425 ASOS, ROSA - MES12, Customized
Bit rate	300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, or 115200
Available averages	Max. 3600 s
Analog outputs	
Wind speed	
Frequency	pulse 0 V/10 V: 0 ... 2 kHz (f = 10 Hz/m/s)
Voltage	0 ... 10 V (U = 100 mV /m/s)
Current	0 ... 20 mA (I = 0.2 mA/m/s)
Wind direction	
Voltage	0 ... 10 V (U = 20 mV/°)
Current	0 ... 20 mA (I = 50 uA/°)
Potentiometer	reference voltage 1 ... 10 VDC 0 ... V _{ref} represents 0 ... 359 °
Readout update interval	Max. 4 Hz
Units available	m/s, knots, mph, km/h, V, mA, Hz
Operating mode	Automatic Message or Poll Mode
Virtual temperature	Celsius degrees

Table 31 General

Property	Description/Value
Heating	No heating: 0 W Average heating power 30 W Peak transducer heating power: 40 W Average transducer and array arm heating: 150W Peak transducer and array arm heating: 200 W
Operating temperature	-10 ... +60 °C -40 ... +60 °C -55 ... +70 °C
Operating voltage Absolute maximum	9 ... 36 VDC 40 VDC
Heating voltage Typical ranges Absolute maximum	24 ... 36 VDC 40 VDC
IP class	IP66/IP67
Material Body Transducers Mounting kit	stainless steel AISI316 silicone stainless steel AISI316
Dimensions Height Width Depth	350 mm 250 mm 285 mm
Weight	WMT700 Wind Sensor: 1.9 kg Mounting adapter: 0.3 kg Fix70 Mounting Kit 1.4 kg
Connector	Hummel 7.106 series

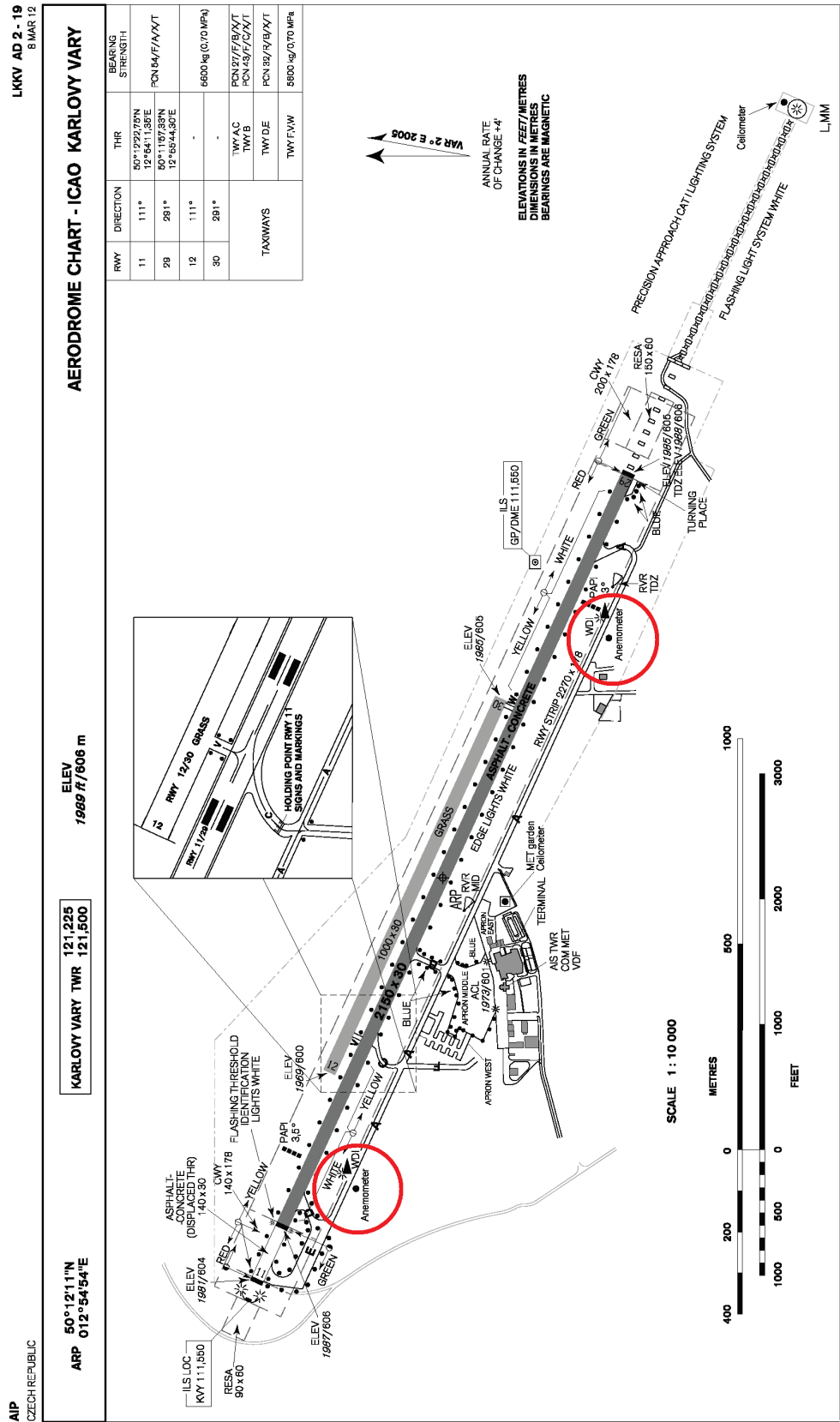
Zdroj: www.vaisala.com

PŘÍLOHA 5 – OMEZENÍ SLOŽEK VĚTRU PRO BOEING 737-800 A 737-800W

WIND LIMITATIONS - TAKEOFF				Note: Rolling takeoff is strongly advised when crosswind exceed 20 kts.
Direction / Runway Condition		B 738	B 738W	
Headwind		60	60	
Crosswind	Dry	36	34	
	Wet	27	25	
	Standing Water / Slush	19	19	
	Snow - No Melting	26	24	
	Ice - No Melting	8	8	
Tailwind		10	10	
WIND LIMITATIONS - LANDING				Note: Reduce crosswind guidelines by 5 kts on wet or contamin.RWYs whenever asym. reverse thrust is used. With the yaw dumper INOP do not exceed flaps 30 if crosswinds exceed 30 kts. Sideslip only limit: FL 15° - 13 kts FL 30° - 16 kts FL 40° - 18 kts
Direction / Runway Condition		B738/8W		
Headwind		60		
Crosswind	Dry	40		
	Wet	40		
	Standing Water / Slush	20		
	Snow - No Melting	35		
	Ice - No Melting	17		
Tailwind		10		
WIND LIMITATIONS - AUTOMATIC LANDING				Reduce sideslip only landing crosswind by 2 kts for airplanes with winglets.
Direction		B738/8W		
Headwind		25		
Crosswind		20		
Tailwind		10		
WIND LIMITATIONS-LOW VISIBILITY OPERATIONS-TAKEOFF				
Low visibility takeoff may be performed if wind values not exceed				
WIND COMPONENT		WIND VELOCITY		
Headwind		35 kts		
Crosswind		15 kts		
Tailwind		10 kts		
WIND LIMITATIONS-LOW VISIBILITY OPERATIONS-CATII/IIIA APP				
CAT II/IIIA approach may be performed if wind values not exceed				
WIND COMPONENT		WIND VELOCITY		
Headwind		25 kts		
Crosswind		15 kts		
Tailwind		10 kts		

Zdroj: Letová příručka B737-800/800W

PŘÍLOHA 6 – ADC LKKV S VYZNAČENÝM UMÍSTĚNÍM ANEMOMETRŮ



Zdroj: AIP ČR